



CRITERIOS DE MODELADO

**PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y
ESTRATEGIAS DE DEMOLICIÓN Y DE-CONSTRUCCIÓN**

Octubre 2021

Criterios de Modelado para la Gestión de Residuos de Construcción y Estrategias de Demolición y De-Construcción



Criterios de Modelado para la Gestión de Residuos de Construcción y Estrategias de Demolición y De-Construcción by Asier Latorre (Innyco BIM Project), is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-SinObraDerivada 4.0 Internacional License.

CRITERIOS DE MODELADO

Informe de criterios de modelado para la Gestión de Residuos de Construcción y Estrategias de Demolición y De-Construcción

GESTIÓN RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN

HISTORIAL DE VERSIONES

Nº Revisión	Fecha	Resumen cambio	Responsable
01	--	Redacción informe	Asier Latorre
02	26/10/21	Finalización informe 1.1	Asier Latorre



ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	GESTIÓN DE RESIDUOS	4
2.1.	DEFINICIÓN Y CONCEPTOS CLAVE	4
2.1.1.	<i>Clasificación RCD según origen</i>	4
2.1.2.	<i>Clasificación RCD según su naturaleza</i>	5
2.1.3.	<i>Clasificación RCD según RD20/2011</i>	5
2.1.4.	<i>Conceptos clave</i>	5
2.2.	NECESIDADES Y DOCUMENTOS DE APOYO PARA LA GESTIÓN DE RCD	6
2.2.1.	<i>Documentos de apoyo a la gestión de RCD</i>	6
2.3.	MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE RESIDUOS Y LIMITACIONES	7
2.3.1.	<i>Modelos detallados</i>	7
2.3.2.	<i>Modelo de Predimensionado</i>	7
2.3.3.	<i>Modelo de Software</i>	7
2.3.4.	<i>Modelos basados en el consumo de materiales</i>	8
2.3.5.	<i>Limitaciones actuales en la gestión de RCD</i>	8
2.3.6.	<i>Problemas e identificación de errores</i>	8
2.4.	TÉCNICAS PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS	10
2.4.1.	<i>Reducir residuos</i>	10
2.4.2.	<i>Reutilizar residuos</i>	11
2.4.3.	<i>Reciclar residuos</i>	11
2.4.4.	<i>Valorización y eliminación de residuos</i>	12
2.4.5.	<i>Criterios de De-Construcción</i>	13
3.	BIM Y GESTIÓN DE RCDs	14
3.1.	DEFINICIÓN Y BENEFICIOS DE BIM	15
3.1.1.	<i>Concepto de LOD</i>	15
3.1.2.	<i>Usos BIM del modelo</i>	17
3.2.	USOS BIM Y VENTAJAS PARA LA GESTIÓN DE RCD	19
3.2.1.	<i>Visualización 3D – Revisión del diseño</i>	20
3.2.2.	<i>Coordinación 3D – Detección interferencias</i>	20
3.2.3.	<i>Simulación constructiva</i>	20
3.2.4.	<i>Mediciones – Estimación de cantidades</i>	20
3.2.5.	<i>Logística y acopios – Replanteo en obra</i>	21
3.2.6.	<i>Medioambiente – Información del ciclo de vida</i>	21
3.2.7.	<i>Fabricación digital</i>	21
3.2.8.	<i>Conclusiones finales</i>	21
4.	PROCEDIMIENTOS DE TRABAJO	22
5.	PROPUESTA CRITERIOS MODELADO BIM – RCD	25
5.1.	GUÍAS uBIM	26
5.2.	GESTIÓN DE PARÁMETROS IFC	27
5.3.	CONSIDERACIONES CLAVE DEL PROCEDIMIENTO	28
6.	BIBLIOGRAFÍA	30
ANEXO A		33
ANEXO B		34



Índice de figuras

Figura 1.	Ciclo de gestión de RCD	10
Figura 2.	Ciclo de vida de los materiales según técnica gestión RCD.	13
Figura 3.	Relación entre usos BIM y gestión de RCD	21
Figura 4.	Clasificación de procedimientos según gestión de modelo, trabajo de la información y usos BIM	24
Figura 5.	Elementos clave en el desarrollo de los criterios básicos de modelado BIM para RCD	29

Índice de tablas

Tabla 1.	PROBLEMAS Y LIMITACIONES EN LA GESTIÓN DE RCD	9
Tabla 2.	NIVELES DE CLASIFICACIÓN LOD	16
Tabla 3.	FASES DEL PROYECTO – LOD – DIMENSIONES BIM.	17
Tabla 4.	USOS BIM (adaptación de comisión esBIM)	18
Tabla 5.	VENTAJAS DE LOS PROCEDIMIENTOS PARA MODELOS BIM – RCD	22
Tabla 6.	ESTRUCTURA DOCUMENTOS GUÍAS uBIM	26

1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático está afectando cada año de manera más clara y contundente al comportamiento del planeta. El año 2019 fue el segundo más caluroso desde que se tienen registros, cerrando la década más calurosa de todos los tiempos (2010-2019), y los niveles de CO₂ aumentaron a niveles récord. Las consecuencias que se derivan del mismo afectan por igual a países de todos los continentes: cambios de temperaturas, subida del nivel de mar, fenómenos meteorológicos extremos (olas de frío, terremotos, olas de calor...). Por ello, se hace necesario tomar medidas y decisiones respecto a los modelos de producción actuales.

Fruto de esta preocupación, en el año 2015 surgieron los *Objetivos de Desarrollo Sostenible*, desarrollados por **Naciones Unidas**. Buscan el satisfacer las necesidades del presente sin comprometer el futuro de las nuevas generaciones, apoyándose en 3 pilares:

- Crecimiento económico
- Inclusión social
- Protección del medio ambiente

Conformados por un total de 17 objetivos, hasta 5 de ellos están relacionados de manera más o menos estrecha con la mejora y cuidado del medioambiente, buscando mitigar el impacto del cambio climático:

- Objetivo 7 – Energía asequible y no contaminante
- Objetivo 9 – Industria, innovación e infraestructuras
- Objetivo 11 – Ciudades y comunidades sostenibles
- Objetivo 12 – Garantizar modalidades de consumo y producción sostenible
- Objetivo 13 – Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos

El impacto que tiene el sector de la **Construcción** en la consecución de estos ODS es claro e inequívoco, bien sea por consumo de materiales y energía en el proceso de ejecución, el impacto del consumo de los edificios ejecutados durante la fase de uso y explotación y su contribución en el impacto de las ciudades.

El consumo y producción de materiales están vinculados al medio ambiente natural y los recursos del planeta. El desarrollo del último siglo ha conllevado un impacto negativo en el medioambiente. Se calcula que las ciudades del mundo equivalen en torno al 3% de la superficie global del planeta, mientras que su consumo de energía repercute entre el 60/80% del total y poseen el 75% de las emisiones de CO₂.

Con estos números se hace necesaria una mayor implicación por el diseño de ciudades sostenibles, pensando de manera eficiente el urbanismo de las mismas con la finalidad de evitar que surjan nuevos barrios pobres en infraestructuras y servicios. Buscando con este nuevo urbanismo generar ciudades con menor contaminación de aire y controlando el crecimiento urbano.

La inversión en innovación y progreso tecnológico se convierte pues en un elemento clave para dar respuesta con soluciones duraderas que ayuden a dar la vuelta a la situación de contaminación del planeta. Se hace necesaria una industrialización inclusiva y sostenible que vaya de la mano con los procesos de innovación, generando soluciones sostenibles.

Dentro de este contexto medioambiental, el estudio y optimización de los *Residuos de Construcción y Demolición* (RCD) dentro del sector de la **Construcción** se convierte en un elemento clave a gestionar. A fecha actual, la cantidad de RCD que se genera en la ejecución de los edificios es enorme. A continuación se facilitan datos que afianzan esta afirmación, recogidos en diferentes fuentes que se aportan al final del presente informe:

- Los RCD suponen entre el 25-40% de los residuos sólidos en EE.UU, resultando un total de 170 millones de toneladas en 2003.
- Los RCD suponen el 25% de los residuos sólidos en vertedero de Hong Kong
- En 2013, los RCD supusieron el 50% de los residuos sólidos generados en Corea del Sur
- En 2014, los RCD generados en China resultaron en torno a 1,13 billones de toneladas



- El sector de la **Construcción** es responsable del 32% de los residuos en vertederos y el 25% de las materias primas utilizadas en Reino Unido en el 2012. En el año 2009 generaron 31,8 millones de toneladas
- En Australia, los RCD suponen alrededor del 30% del total de residuos
- Por su parte, en Canadá se estima que los RCD son el 27% de los residuos generados anualmente
- En cuanto a Europa, existen estimaciones que indican que se generan sobre 870 millones de toneladas anuales de RCD, que suponen el 25-30% del total generado de residuos
- A nivel global, estudios indican que la cantidad de RCD suponen alrededor del 30% del total de residuos generados anualmente

Todos estos datos ayudan a cuantificar el impacto negativo que tiene el proceso de ejecución de los edificios en el planeta, y dan una muestra de porqué las Naciones Unidas consideran al sector de la **Construcción** como el principal sector con capacidad de mejora en el impacto del medioambiente.

Ante esta situación descrita, las ciudades afrontan un escenario preocupante con graves problemas medioambientales debido en gran parte a la contaminación industrial, siendo el sector de la **Construcción** uno de los principales focos del mismo.

Este sector depende en gran medida de la generación de materias primas. La producción de estas materias también supone un impacto ambiental grande que se intensifica aún más durante el proceso de demolición y finalización del ciclo de vida del proyecto.

Dentro de la gravedad de la situación, cabe destacar que la mayoría de los RCD son considerados como inertes, siendo una "amenaza inferior" en comparación a los residuos peligrosos. No obstante, a pesar de esta consideración, el impacto medioambiental que deriva de los RCD es alto y diverso: emisión de gases que contribuyen al efecto invernadero, consumo de energía, agotamiento de los recursos, degradación del planeta o contaminación.

Además de los problemas medioambientales descritos, la generación de los RCD implica un mayor coste debido a tasas y gestión de los mismos, suponiendo un incremento considerable del presupuesto de los proyectos.

Como alternativa, con la finalidad de mitigar el impacto ambiental negativo de los RCD a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto, los acuerdos sostenibles y los ODS de la agenda de economía circular ofrecen una alternativa al modelo de gestión de RCD tradicional (Tomar - Hacer - Desperdiciar, "*Take - Make - Waste*" en inglés) basado en el concepto de economía circular, eliminando el residuo adoptando un método apropiado para el uso eficiente de los recursos desde un punto de vista sostenible.

Para poder actuar y conseguir mejoras, se hace necesaria la adopción e integración temprana de las cadenas de suministro y generación de materiales, haciendo uso de aquellos que sean reutilizables y/o reciclables, evitando así el llenado y saturación de vertederos. Esto genera un impacto directo en el funcionamiento de los proyectos y deriva en un beneficio respecto al comportamiento en cuanto a materia de gestión de RCD se refiere.

El primer paso que debe afrontarse a la hora de gestionar los RCD en un proyecto consiste en evitar la generación de residuos. Ello implica estudiar y conocer en profundidad cómo es el mismo, para analizar las diferentes opciones que surgen. En caso de no poder evitar la generación del residuo, el siguiente paso es buscar reutilizarlo o reciclarlo. Y ya en última instancia, proceder a su eliminación en plantas destinadas a tal efecto. Este proceso sirve tanto para proyectos de nueva planta como para obras de rehabilitación, pero es precisamente en estas últimas donde cobra más importancia, debido a una mayor probabilidad en la generación de RCD.

Para poder disminuir la cantidad de residuos derivados del sector de la **Construcción** debe atacarse al problema raíz, buscando evitar su creación, ver de dónde se derivan. En gran medida, los RCD se generan por proyectos redactados de manera imprecisa, una mala contratación de recursos, una planificación errónea o por la introducción de cambios respecto al proyecto original, pudiendo actuar en actividades previas al proceso de ejecución en sí.

Es por ello que dentro del ciclo de vida del proyecto, la fase de diseño, donde se proyecta el edificio, es clave en la gestión de RCD. Se necesita el poder determinar la cantidad de residuos desde un inicio de manera exacta, siendo un paso clave dentro del proceso. El disponer de esta información desde fase de proyecto facilita una gestión efectiva de los RCD, tanto en proyectos de nueva planta como en rehabilitaciones o demoliciones.

A partir de esta estimación de cantidades es cuando puede comenzar a trabajar en la planificación y gestión de los RCD: costes de tasas, tácticas de reutilización y reciclaje, número de camiones necesarios...

La introducción de nuevas tecnologías y programas informáticos logran con precisión agilizar el proceso descrito en cuanto a la cuantificación de los RCD del proyecto. No obstante, el estado actual de las herramientas para gestionar RCD es incipiente, y necesita más desarrollo. Sin embargo, la capacidad del software y la información requerida por estos programas está aumentando en los últimos años, además de fomentarse, debido a su efectividad frente a las alternativas más tradicionales.

Por ello resulta fundamental el fomento y uso de herramientas informáticas que ayuden a disminuir la cantidad de RCD generados desde la concepción del proyecto.

En la última década, se han desarrollado diferentes estudios donde los programas vinculados con *Building Information Modelling* (BIM) se han utilizado para optimizar y potenciar la gestión de RCD.

BIM, utilizado como una herramienta que potencia la comunicación, generación de datos, su intercambio y visualización, unido a su opción de mejorar mediante el análisis los errores de diseño en fase de redacción de proyecto, permite un estudio y disminución de la generación de RCD.

Por tanto, como se observa, se necesita de una aplicación informática que facilite información precisa de los RCD en todo el ciclo de vida del proyecto, y la información obtenida de los modelos BIM se muestra como precisa, estando disponible desde fases de redacción de proyecto, contemplando el ciclo de vida al completo del mismo. De esta afirmación se deriva un aspecto importante, y es que los modelos BIM, si no se les dota de información, pierden las ventajas que aportan al proyecto, no aporta todo su potencial.

A pesar de existir numerosos artículos al respecto, sobre la teoría del uso de modelos BIM y su beneficio para el estudio y disminución de RCD y las ventajas que aportan para su gestión, no existen muchos trabajos donde se den pautas y funciones exactas especificando su uso.

Se han publicado diversos estudios donde se han mostrado las bondades del uso de BIM y las ventajas que conlleva, incluso asignando porcentajes y poniendo números a las mejoras que logra en la gestión de RCD. Estos estudios se han basado principalmente en el uso de modelos BIM para:

- Evitar errores de concepción del proyecto
- Cuantificar los residuos generados en proyecto

El presente informe contextualiza qué son los RCD y cómo BIM puede suponer una mejora en su gestión, apoyándose en el trabajo previo elaborado en diferentes estudios, para posteriormente desarrollar una propuesta sobre cómo implementar de manera práctica su uso en modelos reales. Se busca ir un paso más allá de los estudios elaborados principalmente hasta la fecha, y facilitar unos criterios siguiendo el patrón de documento contenido en las guías uBIM publicadas por el capítulo español de la buildingSMART.

El documento se estructura en un total de 5 apartados donde se desarrolla la información descrita:

- **Introducción:** Desarrollo y contextualización de la temática del informe
- **Gestión de residuos:** Revisión bibliográfica para describir qué son los RCD, métodos de medición existentes hasta la fecha y las necesidades para realizar una mejora real y efectiva en su gestión
- **BIM y gestión de RCD:** Análisis de las principales mejoras que se han estudiado en investigaciones previas, donde se vincula el uso de BIM con una serie de beneficios para la gestión de RCD
- **Procedimientos de trabajo:** Análisis de los diferentes procedimientos elaborados hasta la fecha en lo que respecta al uso de BIM orientado a la gestión de RCD
- **Propuesta de procedimiento:** Desarrollo de un documento que contenga una serie de criterios de modelado que favorezca el estudio y gestión de RCD desde la fase de redacción de proyecto

2. GESTIÓN DE RESIDUOS

En España la producción y gestión de los RCD se regula mediante el *Real Decreto* (RD) 105/2008, que viene a dar respuesta al problema ambiental que generan debido a su creciente volumen y su tratamiento ineficaz.

2.1. DEFINICIÓN Y CONCEPTOS CLAVE

Se considera que los RCD son *sustancias u objetos que cumpliendo la definición de residuo (cualquier sustancia u objeto que su poseedor deseché o tenga la intención o la obligación de desechar) se generen en:*

- *La construcción, rehabilitación, reparación, reforma o demolición de un bien inmueble, tal como un edificio, carretera, puerto, aeropuerto, ferrocarril, canal, presa, instalación deportiva o de ocio, así como cualquier otro análogo de ingeniería civil*
- *La realización de trabajos que modifiquen la forma o sustancia del terreno o del subsuelo, tales como excavaciones, inyecciones, urbanizaciones u otros análogos, con exclusión de aquellas actividades a las que sea de aplicación la Directiva 2006/21/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de marzo, sobre la gestión de residuos de industrias extractivas*

Como integrante de la obra se consideran acciones y elementos como:

- *Plantas de machaqueo*
- *Plantas de fabricación de hormigón*
- *Plantas de prefabricados de hormigón*
- *Plantas de fabricación de mezclas bituminosas*
- *Talleres de fabricación de encofrados*
- *Talleres de elaboración de ferralla*
- *Almacenes de materiales y almacenes de residuos de la propia obra y plantas de tratamiento de los RCD*

Los RCD se pueden clasificar por diferentes criterios. A continuación se definen dos clasificaciones; según su origen, y según su naturaleza.

2.1.1. Clasificación RCD según origen

Se catalogan en 3 grupos según el origen:

- Procedentes de puntos de extracción de áridos o de obras por movimiento de tierra puro
- Procedentes de obras de construcción
- Procedentes de obras de demolición

Procedentes de puntos de extracción o movimientos de tierra puros

Compuestos por materiales de origen pétreo, se tratan de residuos limpios de contaminación.

Residuos de construcción

El núcleo grande de este tipo de residuo lo conforman restos de origen pétreo o cerámico (alrededor del 75%), estando compuestos principalmente por restos de hormigón y materiales cerámicos derivados de roturas de piezas o recortes.

El resto de residuos (25%) lo componen una mezcla heterogénea de materiales: vidrio, madera, plásticos, papel, residuos peligrosos (disolventes, pinturas, metales)...

Residuos de demolición

Muy similares a los anteriores, con la peculiaridad de que se encuentran mucho más mezclados, por lo que se dificulta el proceso de reciclaje y reutilización de los mismos.

Hormigón, acero, cerámica, metal y plásticos, se tratan de residuos que en obras nuevas son relativamente sencillos de segregar y reutilizar o reciclar, pero en obras de demolición se complica, obligando a una demolición selectiva. Aun así no se garantiza el reciclar la misma proporción de residuos que en obra nueva.



2.1.2. Clasificación RCD según su naturaleza

Otra posible clasificación de los residuos consiste en ordenarlos según su naturaleza, íntimamente ligado a su origen. Resultan:

- Residuos inertes
- Residuos no peligrosos
- Residuos tóxicos y peligrosos

Residuos inertes

Aquellos considerados no peligrosos y que no experimentan transformaciones físicas, químicas o biológicas de consideración, sin perjuicio a la salud humana y sin generar contaminación al medioambiente. Comúnmente denominados escombros.

Están compuestos principalmente por restos de hormigón, ladrillos, vidrio o derivados del movimiento de tierras. Por tanto, se relacionan más con los residuos de origen de excavación, y los escombros generados en los residuos de construcción de obra.

Residuos no peligrosos

Sin ser peligrosos por sí mismos, son susceptibles de generar problemas de toxicidad al sufrir modificaciones físicas, químicas o biológicas en las que sí se genere un riesgo para la salud humana.

Se tratan de residuos como la madera, algunos tipos de plástico, papel, yeso y la mayoría de los metales.

Residuos tóxicos y peligrosos

Tienen esta consideración los que contienen sustancias tóxicas para el ser humano, o resultan contaminantes para el medio ambiente. Se encuentran clasificados en la legislación, estando protocolizado el traslado, manipulación y gestión de los mismos.

Para gestionar este tipo de residuos, la mejor estrategia consiste en separar y segregarlos, minimizando la cantidad de este tipo de residuo.

Poseen esta categoría las pinturas y disolventes (incluido su envase), el plomo, amianto y derivados, así como residuos radioactivos.

2.1.3. Clasificación RCD según RD20/2011

A efectos de lo establecido en el RD 20/2011, se establece la siguiente clasificación:

- **Categoría I:** RCD que contienen sustancias peligrosas según la Lista Europea de Residuos, orden MAM/304/2002
- **Categoría II:** Residuos inertes de construcción y demolición sucio. No permite una buena valorización al encontrarse mezclado con otros residuos
- **Categoría III:** Residuos inertes de construcción y demolición limpio. Se entrega de forma separada posibilitando su valorización, tales como: Hormigones, morteros, piedras, áridos mezclados, ladrillos, azulejos o restos cerámicos
- **Categoría IV:** Residuos inertes adecuados para su uso en obras de restauración, acondicionamiento y rellenos, estando compuestos por residuos inertes declarados aptos para su uso en este tipo de obras.

2.1.4. Conceptos clave

Por lo explicado hasta el momento, se puede deducir que la reducción de RCD implica una gestión de los mismos y eliminar o minimizar las causas que los generan. Esta gestión, para ser lo más efectiva posible, se basa en conceptos como los principios de las 3R: Reducir, Reutilizar y Reciclar, ampliados en lo que se conoce como el "Principio de Jerarquía":

- **Reducir:** Concepto que se fundamenta en que el residuo con menor impacto en el medioambiente es que no se genera. Implica un estudio minucioso del proyecto, y conocer las principales técnicas de construcción, de manera que se optimicen los sistemas constructivos y minimice la generación de residuos.

- **Reutilizar:** En caso de tener posibilidad, plantear la utilización de materiales previamente usados antes de desecharlos o utilizar nuevos.
- **Reciclar:** En caso de que la reutilización no fuera viable, utilizar los materiales que componen un elemento en la fabricación de otro.
- **Valorizar:** Como siguiente alternativa, en caso de no poder reciclar, existe la opción de utilizar al elemento como combustible, aprovechando la energía química del mismo, siempre en plantas especializadas.
- **Eliminar:** En última instancia, en caso de no haber podido sacar provecho del material de ninguna manera, habrá que realizar un vertido controlado del residuo para su almacenamiento y posterior sellado.

La estrategia más efectiva para disminuir la cantidad de residuos, por tanto, consiste en actuar durante la fase de redacción del proyecto, antes de que se generen los RCD. Implica el estudio exhaustivo y minucioso de los proyectos teniendo claro el fin último: evitar el mayor número de RCD. Para ello, es importante:

- Evitar el uso de materiales tóxicos o contaminantes en los proyectos
- Utilizar materiales con una vida útil larga
- Minimizar las uniones complejas en sistemas constructivos
- Estudiar de manera detallada el proyecto, actualizando los cambios y estudiando su impacto en la gestión de residuos
- Fomentar el uso de materiales reutilizados/reciclados
- Utilizar uniones atornilladas frente uniones soldadas en metal
- Proyectar con materiales prefabricados
- Evitar el uso de clavo, adhesivos o materiales de unión similar

Por tanto, la clave para una reducción efectiva en la generación de residuos pasa por una identificación temprana durante la fase de elaboración de proyecto de los mismos, a través de:

- Estudio de soluciones constructivas con sentido
- Análisis de discrepancias entre planos de diferentes disciplinas
- Comprobación de que el proyecto no contenga omisiones

2.2. NECESIDADES Y DOCUMENTOS DE APOYO PARA LA GESTIÓN DE RCD

Para una reducción real y efectiva de los RCD es necesario un enfoque de gestión integrada y una mejora de los procesos ya que la generación de residuos sucede por falta, errores u omisiones de proyecto, errores en la contratación, una incorrecta planificación de los procesos constructivos, la mala gestión de encargos de material y por cambios de proyecto.

Por ello resulta clave tenerlos identificados de manera clara y precisa desde un principio, en la fase de redacción de proyecto. Esta identificación es doble, de manera cuantitativa y ubicación de los mismos. En la actualidad este paso clave se encuentra limitado debido a la falta de bases de datos adecuadas que faciliten este paso clave. Como se verá más adelante, el uso de BIM permite estudiar y optimizar los diseños de proyectos desde fases tempranas, con la mejora que ello conlleva desde un punto de vista de la gestión de RCD.

2.2.1. Documentos de apoyo a la gestión de RCD

En la actualidad existen documentos de apoyo de diversa índole que facilitan el estudio y gestión de los RCD:

- Guías de aplicación y plantilla de redacción de planes de gestión de RCD
- Base de datos de residuos
- Herramientas de estimación de RCD
- Herramientas de asesoramiento
- Herramientas GIS

2.3. MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE RESIDUOS Y LIMITACIONES

Existen diferentes métodos que facilitan una estimación de la generación de RCD, que se apoyan principalmente en el uso de herramientas informáticas que facilitan esta labor. A continuación se listan hasta 4 modelos diferentes, explicando las principales características de los mismos. Se tratan de:

- Modelos detallados
- Predimensionado
- Software
- Seguimiento del consumo de recursos de la zona

2.3.1. Modelos detallados

Se trata de un método que necesita una actualización y análisis exhaustivo del proyecto, ya que fundamenta su estimación en el estudio de las diferentes partidas presupuestarias susceptibles de generar residuos, de las diferentes unidades constructivas, como pueden ser la cimentación, ejecución de levantes de fábrica de ladrillo cerámico o partidas de teja cerámica para cubiertas inclinadas.

El equipo proyectista es, durante la fase de redacción del proyecto, quien se encarga de realizar esta estimación de RCD que se generarán durante la obra. A pesar de ser un trabajo laborioso, es cierto que tiene como contrapartida el que se trata de los modelos más fiables en cuanto al resultado obtenido, permitiendo conocer de manera exacta los proyectos. El proceso se divide en:

- Elaborar un listado con la relación de partidas susceptibles de generación de RCD: demoliciones, derribos, extracciones de tierras y aquellos elementos constructivos que de su ejecución provoque un residuo
- Listar aquellos medios auxiliares y productos que, sin ser parte del proyecto en sí, hagan falta para permitir su ejecución, y generen residuos
- Combinar ambas listas, y asociar a cada elemento el tipo de residuo que genere
- Aplicar coeficientes a dichos elementos para estimar la cantidad de RCD generado. Este coeficiente se obtiene de bases de datos con obras pasadas a partir de las cuáles se conoce tanto el volumen como el peso (en m³ y toneladas, respectivamente)

2.3.2. Modelo de Predimensionado

Derivado del método anterior, pero de aplicación más simplificada. Permite conocer una estimación de la cantidad de RCD que se generan en el proyecto a partir del estudio de proyectos previos, y tipificando el proyecto, cuantas más características se definan, más precisa será la estimación.

Sin embargo este método tiene una limitación importante: El proyecto debe poseer unas características que se asemejen a los proyectos de los que se dispone información, o la estimación que se obtenga no será del todo precisa.

Algunas de las variables que se deben considerar son:

- Tipo del edificio
- Tipo de obra
- Tipo de cimentación
- Tipo de estructura
- Tipo de envolvente
- Tipo de divisiones interiores

2.3.3. Modelo de Software

Consiste en la utilización de programas informáticos, e incluso hojas de cálculo, que han sido generadas por diversas entidades con la finalidad de facilitar el cálculo de la estimación de RCD que se generan en los proyectos de Construcción.

Se pueden clasificar según su origen, en:

- Diseñados por Colegios Profesionales: Plantillas gratuitas de hojas de cálculo a partir de las cuales se obtiene una estimación
- Programas de desarrollo vía colaboración público – privada: Herramientas con un gran potencial, que sin embargo se ven lastradas por la falta de actualización en la base de datos que utilizan en las mismas y que provoca una obsolescencia avanzada en un breve periodo temporal
- Desarrollados por casas comerciales: Completando la terna de programas y herramientas informáticas, existe software que ha sido desarrollado por empresas potentes. Sin embargo, el coste de licencias o el desconocimiento del método en el que se fundamentan genera cierta desconfianza en ocasiones

2.3.4. Modelos basados en el consumo de materiales

Otra tipología de método de estimación se fundamenta en el estudio del flujo en el almacenamiento y venta de los materiales en una determinada zona. A partir de la cantidad total de materiales que se consumen en una determinada zona, se considera la vida útil de los mismos y la porción que se generan como residuo durante la fase de construcción.

El enfoque se centra en el estudio de la vida útil de los materiales, y del consumo anual de nuevos recursos destinados a obra, para a partir de esta información generar unos índices de estimación de RCD. Este método tiene el hándicap de que se fundamenta en encuestas realizadas en el sector, y su precisión depende directamente de la precisión de las respuestas obtenidas en las encuestas, por lo que queda un poco en entredicho.

2.3.5. Limitaciones actuales en la gestión de RCD

Ante los diferentes métodos que existen en la actualidad, se identifican una serie de limitaciones que se listan a continuación:

- Aquellos métodos basados en el predimensionado, con variables como las superficies construidas, tienen la limitación de que deben ser proyectos que se asemejen a la información de la base de datos motor de la aplicación
- La información que se requiere para realizar una buena estimación de residuos debe ser precisa y fiable, algo que hoy en día no cumplen muchos de los proyectos que se elaboran
- No todos los métodos expuestos consideran en algún criterio del motor de cálculo la vida útil de ni el comportamiento del ciclo de vida
- Quedan “desvinculados” en ocasiones del proyecto original, provocando una imprecisión de las cantidades debido a la falta de actualización con el proyecto
- Se necesita una mayor información directa de las mediciones referidas a la gestión de RCD en las obras realmente ejecutadas
- Las bases de datos deben ser actualizadas contemplando las soluciones constructivas que se ejecutan en los edificios actuales
- Estas bases de datos deben completarse con información sobre el impacto de los materiales en el ciclo de vida de los proyectos

2.3.6. Problemas e identificación de errores

La situación en la gestión de RCD se podría catalogar como “bipolar”. Por un lado, es un escenario interesante por el desarrollo que tiene y el gran recorrido y margen de mejora que se dispone. El auge de las nuevas tecnologías supone la apertura de una vía interesante que sirva para potenciar técnicas que anticipen la generación de los residuos y permitan optimizar los proyectos. Sin embargo, también existen males endémicos que cuesta erradicar y que lastran las posibles mejoras.

A continuación se identifican alguno de los principales problemas y retos que debe afrontar el estudio y gestión de RCD en los proyectos de construcción para poder llevar a cabo esta mejora necesaria:

- La redacción del Plan de Gestión de Residuos se ve como un documento anejo al proyecto, no como una parte del mismo. Esto genera una descoordinación, falta de precisión y errores u omisiones en la estimación de los mismos
- Existen diferentes bases de datos y software que extraen la información de ellas, pero falla la interoperabilidad entre plataformas, una labor que facilitaría y potenciaría la capacidad de estimación de cantidades desde la fase de redacción del proyecto
- No existe información clara y precisa que documente la cantidad de RCD generados en las obras. Esto implica que lo que no se mide, no puede mejorar

- No existen una conciencia crítica sobre el impacto de los RCD en el sector, y su impacto en el medioambiente. Se hace necesaria una concienciación de los profesionales del sector acerca de ello, y de su relación/comportamiento en todo el ciclo de vida global del proyecto

Wong y Cheng, en su artículo "*Identifying potential Opportunities of BIM for construction and demolition waste management*", identifican 3 categorías de problemas que engloban hasta 42 incidencias. Se adjuntan a continuación en la tabla 2:

Tabla 1. PROBLEMAS Y LIMITACIONES EN LA GESTIÓN DE RCD

Limitaciones de procesos en gestión	Tecnológicos	Relacionadas con políticas de gestión
1. Largos periodos de almacenamiento en obra	22. Las mediciones realizadas de proyecto son erróneas	30. No se considera la gestión de RCD en contratación
2. El presupuesto no contempla todos los residuos generados	23. Técnicas de segregación de RCD no se consideran en proyecto	31. No se describe cómo gestionar los RCD
3. No se estiman todos los RCD de las diferentes fases de construcción	24. No se proyectan materiales que hayan sido o puedan ser reciclados	32. Los materiales se reciben con excesivo embalaje
4. La cantidad de RCD destinados a reutilización o reciclado es baja	25. No se proyectan sistemas constructivos industrializados	33. Falta de compromiso por parte de las subcontratas con el plan de RCD
5. No se estudia la aplicación de materiales reutilizados	26. No se utilizan contenedores en la implantación de obra	34. No se facilita información sobre RCD a los operarios
6. El proyecto no se optimiza para disminuir los RCD	27. Mala segregación de RCD en obra por falta de medios	35. No se desarrollan en el plan de RCD estrategias adecuadas
7. Gran cantidad de cambios de proyecto	28. Falta de gestión de RCD	36. Inversión pobre en la minimización de generación de RCD
8. No se estudian las soluciones constructivas	29. Falta de aplicación de nuevos métodos de demolición más limpios	37. No se asegura el reciclaje de materiales
9. Mala previsión en la contratación de materiales		38. No se contempla la reutilización ni reciclaje en el plan de RCD
10. Mala planificación en el transporte de RCD de obra a planta		39. Los agentes intervinientes no creen en la necesidad de la gestión de RCD
11. No existe implantación para RCD en la obra		40. No se da formación en la gestión de RCD
12. No se protegen los acopios de materiales		41. Falta cultura de gestión de RCD motivada desde las instituciones
13. No se segregan los RCD en el momento en que se generan		42. No se considera el impacto al medioambiente en los planes
14. Mala segregación de las fracciones de RCD generados		
15. No se designa un responsable que supervise la gestión de RCD		
16. No se coordina ni plantea la gestión de RCD desde proyecto		
17. Mala comunicación entre los integrantes de proyecto		
18. Mala coordinación en la gestión de los RCD en obra		
19. No se genera un plan de gestión de RCD desde la constructora		
20. Mala limpieza y organización en la obra		
21. No se utilizan sistemas prefabricados ni industrializados, construyendo de manera tradicional		

2.4. TÉCNICAS PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS

A la hora de gestionar los RCD la técnica más eficaz consiste en el estudio previo del proyecto para lograr reducir y minimizar la cantidad generada. Una vez que se genera el residuo, entran en juego los siguientes pasos que se han definido previamente en el denominado “Principio de Jerarquía”: Reutilización, reciclaje, valorización y eliminación del residuo.

Cuanto antes se pueda actuar y “aprovechar” el RCD generado, mejor. Una vez se genera el residuo, debe actuarse rápido en su separación, buscando la eliminación de los residuos peligrosos y la correcta segregación de los residuos inertes para su reutilización y reciclaje.

Para poder realizar una valoración óptima de los RCD, el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico de España establece las siguientes pautas:

- Clasificar en origen o en plantas de clasificación, por tipos de materiales, principalmente: hormigón, cerámicos, madera, metales, plásticos, papel y cartón
- Disponer de una infraestructura de reciclaje a distancias adecuadas a los RCD generados
- Disponer de canales de recogida selectiva de las fracciones de madera, metal, plástico, papel y cartón en obra o plantas de clasificación
- Demandar áridos reciclados por parte de las empresas constructoras

La figura 1, adaptación de la elaborada por el Ministerio, resume el ciclo de gestión de los RCD.

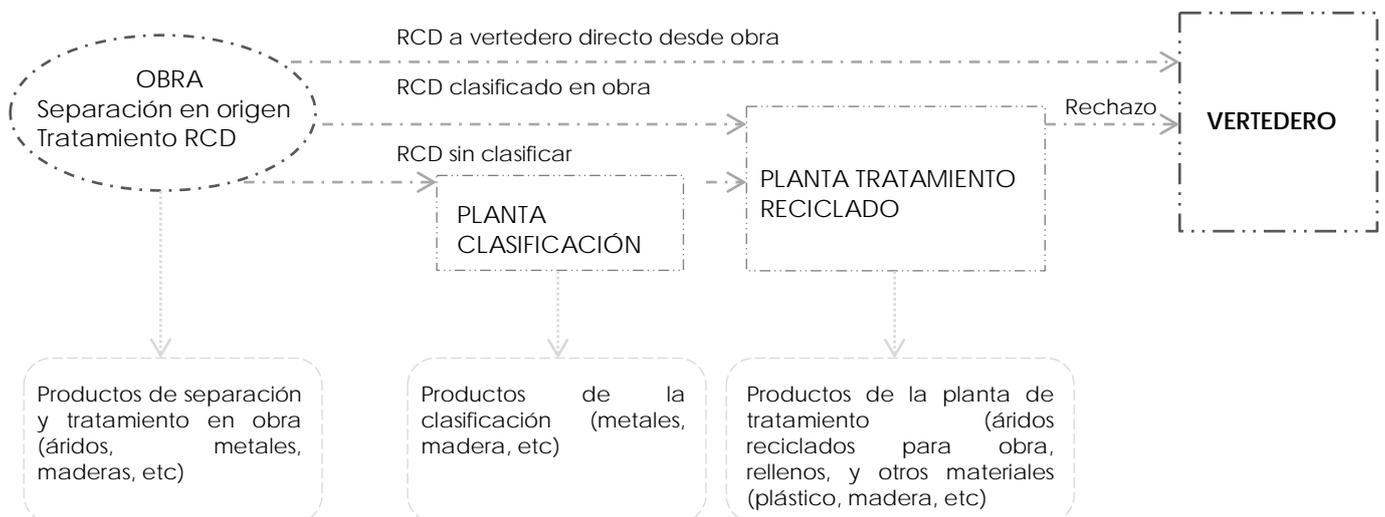


Figura 1. Ciclo de gestión de RCD
(Adaptación de figura del Ministerio para la Transición Ecológica)

A continuación se introducen brevemente en qué consisten cada una de estas técnicas.

2.4.1. Reducir residuos

El primer paso clave en la gestión de los RCD consiste en la búsqueda de minimizar su generación. La clave en este proceso consiste en un estudio detallado del proyecto que evite que surjan grandes cantidades de RCD. Pero no sólo debe actuarse en la fase de diseño; la etapa de planificación del proyecto también es importante, así como supervisar la ejecución del proyecto.

Minimización mediante el diseño

La selección y el diseño de los sistemas constructivos tienen un impacto en la posterior generación de RCD. Es por ello que el uso de técnicas de construcción eficientes, así como la utilización de sistemas pre-industrializados, favorece una menor generación de RCD, mejorando el impacto del proyecto en el medioambiente.

Otra acción que mejora el comportamiento del proyecto respecto a la generación de RCD es la utilización de materiales reutilizados, incluso de la propia obra, aunque esto genera mayores reticencias en los proyectistas y clientes.

Un error a considerar en los proyectos consiste en la generación de cambios de última hora. El tener el proyecto estudiado y bien pensado, dejando las cosas definidas desde la fase de proyecto, evitando el mantra "ya se definirá en obra", favorece una menor cantidad de RCD.

Minimización mediante la planificación

La realización de un plan para la gestión de RCD del proyecto, además de ser un condicionante legal desde la entrada en vigor del RD 105/2008, se convierte en la mejor herramienta para conocer de antemano el comportamiento del proyecto en cuanto a la generación de RCD, estimando su cantidad generada y definiendo el tratamiento que se dará a los mismos, buscando seguir el principio de las 3 R: Reducir, reutilizar y reciclar. Sólo en caso de no ser viable ninguna de estas técnicas, queda justificado el envío de los RCD a vertedero autorizado para proceder a su eliminación.

Durante esta fase cobra importancia el definir la implantación en obra de las medidas que permitan realizar una segregación efectiva de los materiales, estimar las cantidades de RCD que se generan y definir el tratamiento que se realizará de los mismos.

Especialmente importante resultada una gestión adecuada de la separación en origen. Cuanto mayor sea, mejor identificados estarán los residuos inertes y más efectivo será el reciclaje. No obstante, hay que ser conscientes de que el buen funcionamiento de la segregación dependerá del espacio disponible en obra.

2.4.2. Reutilizar residuos

Estrategia importante y clave una vez se genera el RCD, con el objetivo de lograr la sostenibilidad. El impacto que tiene la reutilización en la posibilidad de reducir la generación de RCD se cifra en 3 billones de toneladas a nivel mundial, reduciendo el impacto del sector evitando la generación de nuevos recursos, con lo que ello supone. Sin embargo, existe la dificultad de que no existen guías claras y definidas que indiquen cómo realizar esta reutilización.

Conviene estudiar bien la reutilización de los materiales, ya que implica la aplicación de los RCD generados con escaso procesamiento, minimizando el impacto medioambiental más incluso que el reciclaje. Para optimizar la reutilización de recursos, conviene:

- Llevar a cabo una auditoría previa del proyecto
- Establecer objetivos prioritarios de reutilización
- Incentivar el cumplimiento de estos objetivos
- Exigir que se controle la huella de carbono del proyecto
- Diseñar talleres e iniciativas de comunicación en equipo con otros proyectos locales
- Incluir el uso de materiales reutilizados y obtenidos en el propio emplazamiento
- Disponer de espacio de almacenamiento suficiente para reutilizar los productos

Como ventajas de esta técnica, se obtienen, entre otros, los siguientes beneficios:

- Reducción del impacto global del proyecto
- Preservación de los recursos en materias primas no renovables
- Reducción de las emisiones GEI y de las diversas contaminaciones relacionadas con productos nuevos y su transporte
- Mejora de la rentabilidad de la deconstrucción frente a la demolición

2.4.3. Reciclar residuos

En caso de no poder reutilizar, el siguiente paso para minimizar los recursos consiste en el reciclaje de los mismos. Para ello se necesita una buena planificación de las actividades y una gestión óptima de los RCD. Más allá del impacto positivo económico que conlleva el reciclaje, el fomento de esta técnica deriva en una reducción del uso de materias primas y una disminución del vertido a vertederos para la eliminación de RCD, protegiendo el impacto en el medioambiente, y disminuyendo las emisiones de CO².

Los principales materiales objeto de ser reciclado consisten en madera, metal, asfalto, pavimento, hormigón, cerámicas, papel y cartón. Esto conlleva que debe realizarse una correcta segregación en obra de los residuos, para lo que se necesita espacio para la instalación de los contenedores para la separación en fracciones.

No obstante, cabe recordar que interesa retrasar lo máximo posible el momento del reciclaje del material, buscando antes una reutilización del mismo. El reciclaje cierra el ciclo de materiales. Como se ha indicado, la recogida selectiva y la segregación es un elemento clave. Debe fomentarse:

- Uso de productos fácilmente desmontables en partes y componentes
- Uso de materiales de baja toxicidad o peligrosidad
- Uso de materiales altamente reciclables o compostables
- Aseguramiento de una buena gestión, recogida y valorización de los RCD

2.4.4. Valorización y eliminación de residuos

Siguiendo el esquema de la figura 1, en caso de no haber podido ni reutilizar ni reciclar el RCD, debe procederse en primer lugar a la valorización del mismo, y en última instancia, a su eliminación. El Anejo 1 de la ORDEN MAM/304/2002 recoge en su parte B, las operaciones de valorización, y en la parte A, las de eliminación. Se citan a continuación.

Operaciones de valorización

R1 → Utilización principal como combustible o como otro medio de genera energía

R2 → Recuperación o regeneración de disolventes

R3 → Reciclado o recuperación de sustancias orgánicas que no se utilizan como disolventes (incluidas las operaciones de formación de abono y otras transformaciones biológicas).

R4 → Reciclado o recuperación de metales y de compuestos metálicos.

R5 → Reciclado o recuperación de otras materias inorgánicas.

R6 → Regeneración de ácidos o de bases.

R7 → Recuperación de componentes utilizados para reducir la contaminación.

R8 → Recuperación de componentes procedentes de catalizadores.

R9 → Regeneración u otro nuevo empleo de aceites.

R10 → Tratamiento de suelos, produciendo un beneficio a la agricultura o una mejora ecológica de los mismos.

R11 → Utilización de residuos obtenidos a partir de cualquiera de las operaciones enumeradas entre R1 y R10.

R12 → Intercambio de residuos para someterlos a cualquiera de las operaciones enumeradas entre R1 y R11.

R13 → Acumulación de residuos para someterlos a cualquiera de las operaciones enumeradas entre R1 y R12 (con exclusión del almacenamiento temporal previo a la recogida en el lugar de la producción).

Operaciones de eliminación

D1 → Depósito sobre el suelo o en su interior (por ejemplo, vertido, etc.).

D2 → Tratamiento en medio terrestre (por ejemplo biodegradación de residuos líquidos o lodos en el suelo, etc)

D3 → Inyección en profundidad (por ejemplo, inyección de residuos bombeables en pozos, minas de sal, fallas geológicas naturales, etc.).

D4 → Embalse superficial (por ejemplo vertido de residuos líquidos o lodos en pozos, estanques o lagunas, etc.).

D5 → Vertido en lugares especialmente diseñados (por ejemplo, colocación en celdas estancas separadas, recubiertas y aisladas entre sí y el medio ambiente, etc.).

D6 → Vertido en el medio acuático, salvo en el mar.

D7 → Vertido en el mar, incluida la inserción en el lecho marino.

D8 → Tratamiento biológico no especificado en otro apartado del presente anejo y que dé como resultado compuestos o mezclas que se eliminan mediante alguno de los procedimientos enumerados entre D1 y D12.

D9 → Tratamiento fisicoquímico no especificado en otro apartado del presente anejo y que dé como resultado compuestos o mezclas que se eliminan mediante uno de los procedimientos enumerados entre D1 y D12 (por ejemplo, evaporación, secado, calcinación, etc.).

D10 → Incineración en tierra.

D11 → Incineración en el mar.

D12 → Depósito permanente (por ejemplo, colocación de contenedores en una mina, etc.).

D13 → Combinación o mezcla previa a cualquiera de las operaciones enumeradas entre D1 y D12.

D14 → Re-envasado previo a cualquiera de las operaciones enumeradas entre D1 y D13.

D15 → Almacenamiento previo a cualquiera de las operaciones enumeradas entre D1 y D14 (con exclusión del almacenamiento temporal previo a la recogida en el lugar de producción).

2.4.5. Criterios de De-Construcción

La última década ha supuesto un avance importante en materia de concienciación respecto a la importancia que tiene la gestión de RCD para minimizar el impacto en el medioambiente del sector de la **Construcción**. Fruto de este fuerte desarrollo, han surgido diferentes técnicas que buscan mejorar el impacto del sector mediante la reducción de la cantidad de RCD que se generan. Uno de los principales avances surge con la De-Construcción.

La De-Construcción consiste en el desmontaje total o parcial de un elemento constructivo para poder ser reutilizado o reciclar sus componentes de manera óptima, eliminando los procesos derivados a vertedero dando una nueva vida a los materiales mediante la reutilización y reciclaje. Su aplicación conlleva ventajas como beneficios medioambientales (menos emisiones, menor gasto de energía), beneficios sociales y económicos (ahorro por la reutilización y reciclaje de materiales, así como aportar nuevos puestos de empleo).

A la hora de proyectar edificios bajo un criterio de De-Construcción, conviene seguir las siguientes pautas:

- Prescribir materiales con una vida útil larga
- Utilizar materiales que no tengan varias capas de acabados
- Fijar los elementos mediante tornillería en vez de soldaduras o resinas
- Evitar el uso de materiales tóxicos
- Fomentar el uso de materiales prefabricados o con uniones industrializadas

La figura 2 resume el ciclo de los materiales según criterios de De-Construcción:

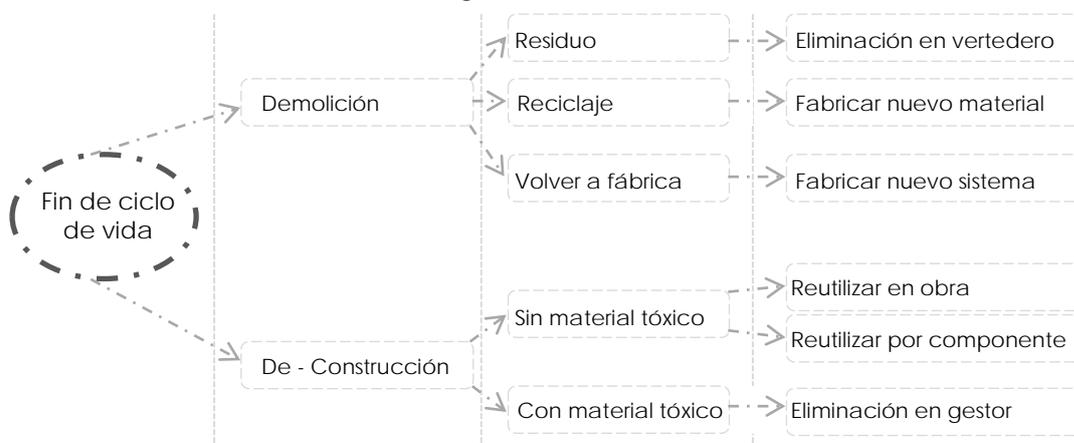


Figura 2. Ciclo de vida de los materiales según técnica gestión RCD.
Adaptación Akinade, Oyedele, Bilal, Ajayi, Owolabi, Alaka y Bello, 2015.



3. BIM Y GESTIÓN DE RCDs

El conocer y comprender bien el proyecto desde un inicio es requisito indispensable para una correcta gestión de los RCD en fases posteriores. Tal y como se ha descrito, cuanto mayor sea el conocimiento del proyecto, más sencillo será estimar la cantidad de RCD generada, y cuanto más se controle (ubicación, sistemas constructivos...) más sencillo será predecir el comportamiento del proyecto y por tanto minimizar la generación de RCD, desarrollando tácticas efectivas frente a los mismos.

Como respuesta a estas necesidades, la aparición de BIM en el día a día de los proyectos aporta un nuevo enfoque que favorece a la gestión de los RCD. La táctica seguida hasta el momento en la mayoría de los casos, aplicando nuevas tecnologías a los mismos procesos tradicionales, no es capaz de exprimir y obtener el máximo beneficio de estas nuevas herramientas. Es por ello que se necesita un cambio de mentalidad en la manera en la que se gestionan no sólo los RCD, sino los proyectos en general. Este nuevo enfoque necesario se posibilita gracias a la aplicación de BIM, no como software, sino como metodología colaborativa en la gestión de proyectos, bajo un prisma de *Lean Construction* (también conocido como Construcción sin Pérdidas, CsP).

La irrupción de BIM ha ido evolucionando a la vez que los programas informáticos que posibilitan su aplicación han sido desarrollados y mejorados. El enfoque colaborativo que da a los proyectos permite que, bien utilizado, se definan y anticipen soluciones constructivas que de otra manera se tomaban en obra. Además, en un contexto donde la especialización que acompaña a los proyectos implica que se desarrollan cada vez más entre más colaboradores, la comunicación y colaboración en los proyectos es un elemento clave que debe cuidarse, y BIM, aplicado con un enfoque colaborativo de CsP, fomenta y posibilita este entorno adecuado de trabajo.

Un error que debe evitarse es la consideración de BIM como un mero programa de modelado en tres dimensiones. La parte importante de BIM, lo que realmente aporta valor a los proyectos, y fomenta una mayor colaboración, es la "I" de información. La mejora real se consigue cuando se dota de información a los modelos, posibilitando extraer más ventajas del uso de modelos, como puede ser la obtención de mediciones, simulación de planificación de obra o conocer el comportamiento térmico – acústico del proyecto.

Ante este escenario, la aplicación de BIM a los proyectos también resulta una ventaja desde el punto de vista de la gestión de RCD. Es una ayuda eficiente dado que permite evitar y adelantarse a problemas, cambios de proyecto y posteriores re-trabajos en obra.

Las soluciones para la gestión de RCD que se han desarrollado hasta el momento con BIM se fundamentan en la creación y gestión de bases de datos propias para realizar el cálculo de la estimación de RCD que genera un proyecto. Al dotar de información al modelo, es posible introducir datos como factores de toneladas y m³ de generación de RCD a los diferentes elementos del modelo, de manera que se conozca de manera precisa qué residuos y en qué cantidades se generan en obra, pero en fases tempranas de proyecto. Con esta información, es posible trazar estrategias efectivas para la gestión de RCD, minimizando el impacto que se genera en el medioambiente.

Por tanto, para sacar el máximo provecho al uso de BIM es necesaria su aplicación con un enfoque de CsP, buscando exprimir al máximo los beneficios. El uso combinado de ambos permite el estudio del comportamiento del proyecto en cuanto a generación de RCD, y reducir el impacto medioambiental. La CsP aporta el contexto colaborativo y la búsqueda de entregar el máximo valor en todos los procesos, mientras que BIM ayuda a entender mejor los trabajos y medidas necesarias para llevar a cabo los trabajos. Se necesita de la colaboración conjunta que maximice los beneficios que se pueden obtener en los proyectos.

El problema actual en el estudio de aplicación de BIM a la gestión de RCD consiste en la vinculación de los modelos con las bases de datos. Se han estudiado y desarrollado diferentes aplicaciones diferentes, pero la mayoría sin vinculación directa con el software.

En los próximos apartados se desarrolla la vinculación existente entre los diferentes usos previsto de BIM con la gestión de los RCD en los proyectos. Con ello se pretende establecer relaciones que demuestren cómo el uso de BIM potencia y favorece una mejora en la gestión de los RCD, para posteriormente poder establecer un procedimiento de trabajo que recoge cómo potenciar estos elementos.

3.1. DEFINICIÓN Y BENEFICIOS DE BIM

BIM consiste en una nueva tecnología que propone una metodología de trabajo la cual permite a todos sus usuarios (promotores, arquitectos, constructores y demás agentes) comprender del proyecto de manera clara y visual, además de fomentar el trabajo colaborativo. Es mucho más que un programa informático, es un cambio en la metodología de trabajo, implica una colaboración para posibilitar la detección precoz de errores, y permitir una ejecución del proyecto más eficaz y con menos contratiempos.

Un modelo BIM, bien desarrollado, contiene información que permite:

- Definir la geometría del proyecto
- Establecer una relación entre los diferentes espacios
- Facilitar información geográfica (topografía, ubicación u orientación)
- Medir cantidades de productos y sistemas constructivos
- Estimar costes del proyecto
- Programar la planificación de obra
- Simular el comportamiento térmico – acústico del proyecto

Para ayudar a comprender los diferentes escenarios donde puede llegar a actuar y generar un beneficio BIM, se han desarrollado lo que se denominan "dimensiones BIM", comprendidas desde la 3D hasta la 8D.

- 3D: Visualización 3D que permite ventajas como la detección de colisiones entre componentes de un proyecto, adelantándose a errores en la ejecución y fomentando un ahorro de tiempos y costes.
- 4D: Integración de la variable tiempo en el proceso edificatorio. Se incorpora información temporal de manera que el modelo se relaciona con la programación del cronograma de obra.
- 5D: Generación del presupuesto de los proyectos mediante la medición semi-automática de los elementos constructivos, asignando códigos propios a los mismos a través del modelo.
- 6D: Modelización del comportamiento energético de los proyectos que permite valorar la sostenibilidad y la evolución del mismo a lo largo de su ciclo de vida.
- 7D: Explotación del activo inmobiliario haciendo uso del modelo para facilitar su seguimiento, cara a la gestión y labores de mantenimiento.
- 8D: Vinculación del estudio de Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) mediante el uso de modelos BIM, aprovechando la visualización y comprensión del proceso constructivo.

Como se remarca, lo más importante de BIM es controlar y generar información, dotar de ella a los diferentes elementos del modelo. Sin embargo, se corre el riesgo de aportar información de más, haciendo de la labor de modelado un proceso largo e improductivo. Es por ello que para controlar estos casos surgen dos conceptos claves en BIM: El *Level of Development* (LOD) y los usos previstos del modelo. Ambos buscan dotar de un sentido a la necesidad de información que requieren los modelos, y fomentar un uso razonado de los mismos.

3.1.1. Concepto de LOD

El nivel de desarrollo, conocido como LOD por su acrónimo en inglés, es un concepto que se define y rige por el documento desarrollado por BIM Forum, una normativa para su correcta aplicación, "Level of Development (LOD) Specification". Sirve como referencia para permitir a los agentes del proceso trabajar sabiendo qué grado de detalle y confianza tiene el modelo BIM en cada una de sus fases.

La finalidad última de la norma LOD es establecer un marco que permita normalizar su uso, de manera que se convierta en una herramienta útil de comunicación. No define qué grado de LOD se debe alcanzar en cada fase de proyecto. Sus objetivos son:

- Ayudar a los equipos de trabajo, incluido al promotor, a especificar cuáles deben ser los entregables BIM.
- Ayudar a los proyectistas a explicar a sus equipos qué información y hasta qué nivel de detalle debe desarrollarse el proyecto en cada fase.
- Permitir al resto de agentes intervinientes confiar en la información que reciben del modelo.



La AIA define LOD como “los datos mínimos dimensionales, espaciales, cuantitativos, cualitativos y de otro tipo que deben contener los elementos introducidos en el modelo de manera que se adecúen al LOD establecido al proyecto”. De esta manera, el LOD asociado al elemento permite conocer al resto de usuarios el grado de desarrollo que tiene el mismo, así como la posibilidad de modificarlo, aumentando la información contenida.

Existen 6 opciones niveles: LOD 100, 200, 300, 350, 400 y 500

Clasificación	Nivel de desarrollo de la representación de cada elemento
LOD 100	El elemento puede representarse gráficamente mediante un símbolo u otro tipo de representación genérica, que no alcance los requisitos de LOD 200. Otra información relacionada con el modelo, como el coste unitario, se puede derivar de otros elementos.
LOD 200	El elemento se representa gráficamente como un objeto genérico, con dimensiones, cantidades, localización u orientación aproximada. También puede contener información no gráfica relacionada con el mismo.
LOD 300	El elemento se representa gráficamente bien definido, con dimensiones, tamaño, localización u orientación concreta. También puede contener información no gráfica relacionada con el mismo.
LOD 350	El elemento se representa gráficamente bien definido, con dimensiones, tamaño, localización u orientación concreta, y como interfiere con otros sistemas constructivos. También puede contener información no gráfica relacionada con el mismo.
LOD 400	El elemento se representa gráficamente bien definido, con dimensiones, tamaño, localización u orientación concreta, y con detalle información sobre su fabricación, ensamblaje e información. También puede contener información no gráfica relacionada con el mismo.
LOD 500	El elemento es verificado en cuanto su tamaño, localización, dimensiones y orientación. También puede contener información no gráfica relacionada con el mismo.

Recientemente, con la publicación de la UNE-EN ISO 19650-1:2019, este concepto de LOD evoluciona de manera que evite errores de interpretación, puesto que había gente que confundía el nivel de desarrollo (en referencia a la información del objeto) con el nivel de detalle (relacionado con el aspecto gráfico del mismo).

Con la publicación de la norma ISO BIM, en su parte 1, el punto 11.2 introduce el concepto de Nivel de Información, conocido como LOI por sus siglas en inglés (*Level of Information*). Se define como *la cantidad mínima de información necesaria para satisfacer cada requisito relevante, incluida la información requerida por otras partes contratadas, y no más.*

Es una evolución importante del concepto, en el que se remarca la importancia de la información para BIM tenga sentido, pero introduciendo un matiz interesante. No todo vale, no debe utilizarse BIM para meter todo tipo de información sin sentido, dado que esta acción convierte una metodología útil y eficaz, en un proceso tedioso e incluso sin sentido.

Por tanto, del significado de LOD y su clasificación, así como del concepto de LOI, se extrae que cuanto mayor sea el nivel de definición, siempre dentro de unos límites razonables, más completo será el modelo, y más útil será para poder ser utilizado para una revisión útil y eficaz en materia de gestión de RCD. A partir de modelos que tengan la consideración de LOD 300 es posible extraer una estimación de residuos que no debe alejarse en exceso de la realidad. Si se definen modelos con clasificación LOD 400, más exacta será la estimación.

Para comprender mejor este concepto del nivel de clasificación de LOD, se asemeja su comportamiento al marco normativo español, transponiendo esta clasificación y comparando los valores con las fases de redacción del proyecto de edificación en España (estudios previos – anteproyecto – proyecto básico – Proyecto de Ejecución – Documentación Fin de Obra). Además, se vinculan también con los beneficios que pueden extraerse de las diferentes dimensiones BIM que se han introducido en el apartado anterior. Esta información se refleja en la tabla 3.

Tabla 3. FASES DEL PROYECTO – LOD – DIMENSIONES BIM.

Etapa	LOD	Dimensión	Justificación
Estudios previos	100	2D/3D	Fase en la que se define de modo elemental y esquemático. Se corresponde con LOD100, elemento definido de forma genérica, volumen/área. Dimensiones 2D/3D para visualizar cómo será el proyecto
Anteproyecto	200	2D/3D/5D	Características generales del proyecto: formales, constructivas y económicas. LOD200: Elemento con dimensiones, mediciones y localización aproximada. Grado de definición de proyecto básico. Dimensiones 2D/3D y de forma esquemática 5D*.
Proyecto Básico	300 350	2D/3D/4D/5D/6D	A falta del desarrollo completo de algunos sistemas constructivos (estructura/instalaciones), se definen las exigencias que debe cumplir el edificio (proyecto básico). LOD300/350: definición correcta. Dimensiones 2D/3D. Aplicar 4D*/5D*/6D* en esta fase, aporta valores muy aproximados a los finales.
Proyecto Ejecución	400	2D/3D/4D/5D/6D	El proyecto se define al nivel requerido para la ejecución. LOD400: elemento completamente definido. Pueden aplicarse con fiabilidad 2D/3D/4D/5D/6D.
Documentación final de obra	500**	2D/3D/4D/5D/6D/7D	Al finalizar la obra, se genera la documentación fin de obra. Si se mantiene actualizado el modelo BIM, dicha documentación final es fiable y completa. LOD500: Dimensión 7D, Gestión Integral del Edificio.

(*) Implica que la dimensión no se ajusta por completo a la fase de desarrollo del proyecto.

(**) Futuros desarrollos de las nD son susceptibles de incorporarse a esta categoría LOD.

3.1.2. Usos BIM del modelo

Los modelos BIM deben ser desarrollados con una estrategia. Si la aplicación inicial de BIM en los proyectos internos de una oficina o empresa resulta complejo al comienzo, esta complejidad evoluciona en el momento que se comienza a colaborar entre diferentes estudios y empresas en la realización de los modelos. La especialización que va adquiriendo el sector hace necesaria, cada vez con más frecuencia, la intervención de más agentes en la elaboración de modelos, trabajando generalmente por disciplinas (arquitectura, estructura, instalaciones).

Si la colaboración en la elaboración de los modelos se realiza de manera interna, es importante tener desarrollado una serie de procedimientos internos que faciliten las pautas de cómo debe trabajarse. Sin embargo, en caso de realizar la colaboración de manera externa, entre diferentes empresas, se hace necesaria la elaboración del Plan de Ejecución BIM (PEB), también conocido como *BIM Execution Plan* (BEP).

Este PEB asegura que todos los agentes participantes en el proceso de elaboración del modelo BIM son conocedores de la responsabilidad de cada uno y del alcance de su trabajo. Para ello, es necesario definir los usos a los que se prevé destinar el modelo, para definir estrategias en el desarrollo del mismo, así como establecer una serie de entregables, plazos e hitos que faciliten la consecución del proyecto.

Para definir un PEB deben seguirse 5 pasos:

- Definir los objetivos que busca la implementación de BIM en proyecto
- Identificar los usos del modelo que dan respuesta a estos objetivos
- Diseñar el flujo de trabajo mediante un mapa de procesos
- Establecer los entregables de proyecto



- Desarrollar la infraestructura que permite la colaboración: contratos, formas de comunicación, repositorios, control de calidad...

De los pasos descritos, se focaliza el estudio de los usos BIM, con la finalidad de comprender qué son y qué aportan. Posteriormente se estudiará cuáles de ellos tienen un posible uso para optimizar el uso de modelos BIM orientados a la gestión de RCD.

Procedimiento para la selección de usos BIM

A partir de los objetivos de proyecto que se han definido, debe estudiarse y seleccionarse aquellos usos que den respuesta a las necesidades que establecen. Esta selección debe realizarse en la fase de estudio del proyecto, identificando qué valor aporta cada uso seleccionado respecto a los objetivos definidos, y asignando un valor de la prioridad que tiene en función de lo relacionado que esté (alto, medio, bajo). A partir de esta selección, debe realizarse una planificación de los trabajos que deben dar lugar al modelo, estableciendo hitos y temporalizar entregas, así como generar una matriz de responsabilidades con los agentes.

Clasificación de usos BIM

La Universidad de Pensilvania fue pionera en el uso y desarrollo del PEB, y por tanto en la definición de los usos BIM del modelo. En su última versión (3.0) definen hasta 21 usos organizados por diferentes fases del proyecto, aunque en su anexo B añaden otros 4 usos más potenciales de los modelos, además de remarcar la importancia de que existen otros usos potenciales que pueden no estar contemplados en el listado y no por ello no deben ser contemplados.

A partir de este primer trabajo elaborado por la Universidad de Pensilvania, han ido surgiendo diferentes documentos donde desarrollan esta idea del PEB, como puede ser la normativa británica e incluso la norma ISO BIM. La comisión esBIM en España elaboró en 2018 un documento para que sirviera de guía en el desarrollo de un PEB. En dicha guía, propone hasta un total de 26 usos de BIM, que se recogen y definen en la tabla 4.

Tabla 4. USOS BIM (adaptación de comisión esBIM)	
Usos BIM	Definición
Visualización	El uso de modelos BIM facilita una mayor y mejor comprensión del proyecto. Esto genera una anticipación en la toma de decisiones del proyecto. Aporta por tanto un beneficio en la comprensión del proyecto
Coordinación 3D	Elaboración de modelos BIM por disciplinas (Arquitectura, Estructura e Instalaciones) para chequear los modelos entre sí con la finalidad de identificar y eliminar posibles interferencias de proyecto. Se enfrentan los modelos de estructura con instalaciones, arquitectura con instalaciones y arquitectura con estructura.
Documentación 2D	Obtención de toda o parte de la documentación gráfica a partir del modelo, aportando coherencia en la documentación.
Mediciones	Proceso de cuantificar los elementos del modelo relacionándolos con partidas del proyecto, de manera que se obtengan las mediciones facilitando la realización del presupuesto.
Visualización de datos	Posibilidad de visualizar los datos de manera gráfica, dinámica o estática, facilitando la labor de gestión y toma de decisiones del proyecto.
Generación infografías	Representaciones hiperrealistas del proyecto que apoya la toma de decisiones del proyecto en cuanto a diseño o construcción, así como servir de material comercial
Recorridos virtuales	Obtención de videos o aplicaciones con interacción virtual con tecnología como Realidad Virtual (RV) y Realidad Aumentada (AR)
Validación normativa	Generación de modelos para la automatización de procesos de verificación del cumplimiento de normativa aplicable
Simulación constructiva	Simulación de forma virtual del proceso de construcción del proyecto de manera previa a su ejecución. Se añade la componente temporal a un entorno BIM

Análisis y simulaciones	Generación de modelos para el estudio y análisis energético, lumínico, evacuación o incluso estructural del proyecto.
Seguridad y Salud	Evaluación de los riesgos en la ejecución del proyecto, permitiendo una planificación de los trabajos de manera segura al comprender de manera clara y precisa el mismo. Facilita la identificación de riesgos, su documentación y evaluación
Medioambiente	Generación de modelos para el estudio de impacto en la generación de RCD, distancia a fábrica, obtención de Huella de Carbono...
Replanteo de obra	Incorporación de modelos GIS para mejorar la precisión de las coordenadas de posicionamiento del proyecto
Lista de repaso	Uso de tecnología móvil para el seguimiento del proyecto, creando informes, notificaciones e incidencias a los responsables de una actividad para su corrección
Toma datos en obra	Inclusión de datos desde obra, como fechas, calidad o contenido multimedia
Logística y acopios	Posibilidad de planificar y gestionar el espacio de acopio de los elementos necesarios para la ejecución del proyecto en obra, gracias al uso del modelo BIM y la integración de los criterios de ordenación de maquinaria, personal, materiales o almacenes. Combinando esta información con el uso de simulación 4D permite identificar interferencias dinámica e incluso incidencias de maquinaria
Control de obra	Supervisión de la colocación de elementos de control e instrumentalización para transmitir datos al modelo BIM y actualizar así durante la ejecución de la obra el mismo
Gestión de interesados	Uso del modelo BIM como herramienta visual para la explicación de los proyectos con los agentes participantes en el proceso
Seguimiento de obra	Uso del modelo para el seguimiento y control del avance del proyecto
Fabricación digital	Aplicación del modelo para la fabricación de elementos del proyecto mediante tecnología aditiva, 3D, fresadoras o corte láser
Inventariado	Extracción de la información de bienes muebles de un proyecto, siendo posible extraerla clasificada mediante espacios, equipos, conductos, terminales...
Mantenimiento	Control del mantenimiento de los elementos y equipamiento de un activo durante su vida útil mediante el uso de modelos BIM
Gestión de espacios	Análisis del uso actual y futuro de espacios del proyecto mediante la aplicación del modelo BIM
Sistemas de gestión	Los modelos BIM como repositorio único de información y actualizada alimenta al software de gestión de activos inmobiliarios
Información centralizada	Consideración del modelo BIM como fuente única de información coherente a lo largo del ciclo de vida del proyecto
Usos comerciales	Utilización del modelo BIM para extraer material que sirva como herramienta de marketing y venta comercial

Los 26 usos descritos en la tabla 4 coinciden en su gran mayoría con los usos originales previstos en la guía de redacción de PEB de la Universidad de Pensilvania. En algunos casos, la guía original desglosa algunos como usos independientes (análisis estructural, de iluminación o energético) mientras que la comisión esBIM engloba estos mismos en un único uso. Únicamente se echa en falta un uso, con gran importancia debido al amplio ámbito de actuación que puede suponer en los próximos años: el uso de modelos BIM para levantar edificios existentes. El resto de usos quedan contemplado en el listado desarrollado en la tabla 4.

3.2. USOS BIM Y VENTAJAS PARA LA GESTIÓN DE RCD

Tras presentar los principales usos a los que se puede destinar el modelo, se procede a ver cuáles tienen una relación más estrecha con la gestión de RCD, y cómo pueden ayudar. Como ventajas de la aplicación de BIM a la gestión de RCD se obtiene:

- una medición con alta exactitud de los residuos generados,
- se facilita la gestión del proceso de demolición
- se supervisa el comportamiento a lo largo del ciclo de vida completo del proyecto
- el desarrollo de un plan de gestión de residuos más completo

Estas ventajas favorecen una mayor y mejor reducción, reutilización, reciclaje, y por tanto gestión de los RCD. Los procesos que fomentan la De-Construcción, la reutilización de materiales, y ya en última instancia la demolición del proyecto, se ve favorecida gracias a la aplicación de usos como:

- Visualización 3D – Revisión del diseño
- Coordinación 3D – Detección interferencias
- Simulación constructiva
- Mediciones – Estimación de cantidades
- Logística y acopios – Replanteo en obra
- Medioambiente – Información del ciclo de vida
- Fabricación digital

Cuanto mayor sea la definición de un modelo, más capacidades tendrá. Por tanto, cuanto mayor sea el LOD – LOI de los elementos, más seguridad y validez tendrán los resultados obtenidos. Sin embargo, es muy importante definir de manera previa a la elaboración del modelo a qué usos se va a destinar.

Es un paso clave debido a que la estrategia de modelado varía en función del uso al que esté previsto el modelo BIM del proyecto, y como se ha especificado en el apartado 3.1.1, tan malo es no dotar de información al modelo como caer en el error de sobrecargarlo. Por ello, cara al uso de modelos BIM para la gestión de RCD es importante definir qué usos se quieren potenciar y a qué nivel de LOD – LOI.

A continuación se describen los 7 usos que se identifican con mayor potencial de impacto en la gestión de RCD.

3.2.1. Visualización 3D – Revisión del diseño

Los modelos BIM que se levantan con una estrategia de modelado que satisface los requisitos de este uso favorecen una revisión del diseño y de las soluciones constructivas proyectadas. Este hecho permite el estudio de alternativas y la optimización de las soluciones dadas, lo que unido al uso del punto 3.2.2, elimina errores u omisiones de proyecto.

La principal aportación de este uso consiste en la eliminación de posibles futuros cambios en obra, con los re-trabajos que ello conlleva durante la fase de ejecución, minimizando así la generación de RCD.

3.2.2. Coordinación 3D – Detección interferencias

Se crean diferentes modelos de un mismo proyecto, según disciplinas: modelo de arquitectura, modelo de estructura y modelo de instalaciones. Se generan de manera coordinada (compartiendo sistema de coordenadas), definiendo los elementos constructivos que lo componen con la finalidad de que chequear las posibles interferencias que existen en proyecto.

Facilita anticiparse a errores que de otra manera salen en el momento de ejecutar la obra y generan problemas de tiempo, espacio y dinero, así como una generación extra de RCD. De esta forma se logra minimizar la generación de RCD en obra.

3.2.3. Simulación constructiva

Permite conocer y comprender las necesidades de ejecución del proyecto. Integra la planificación de los recursos (trabajadores, equipos de obra y materiales) para mejorar la planificación, medición y soluciones de poco espacio de trabajo.

De manera similar al punto 3.2.2, logra anticipar posibles conflictos en obra, en este caso derivados de movimientos de maquinaria y problemas de espacio, favoreciendo la gestión de RCD.

3.2.4. Mediciones – Estimación de cantidades

Uso de los modelos BIM para realizar mediciones de materiales más precisas y favorecer una mejor gestión del proceso de contrataciones del proyecto. También permite el estudio de alternativas constructivas en caso de considerarlo necesarias si se observa que la generación de RCD de la solución constructiva inicial es excesiva.

También tiene un uso específico para proyectos de rehabilitación, calculando y optimizando los viajes necesarios para eliminar, clasificar o reciclar los residuos. Este número de viajes se optimiza en gran medida al tener un resultado de cálculo de RCD afinado por una medición fiable de proyecto.

3.2.5. Logística y acopios – Replanteo en obra

El modelo BIM se genera con la finalidad de estudiar la ubicación más idónea de los acopios, logrando minimizar el número de movimientos, y con ello, reducir el número de mermas y roturas de materiales, con la consiguiente disminución de RCD generados. Está estrechamente ligado al uso descrito en el punto 3.2.3.

3.2.6. Medioambiente – Información del ciclo de vida

Uso que se aprovecha de la ventaja que suponen los modelos BIM como repositorio de datos e información. Principalmente se desarrollan planos, pero el modelo contiene mucha información no geométrica que puede ser utilizada para analizar el impacto de los elementos que componen el proyecto a lo largo del ciclo de vida, estudiando opciones cuyo impacto en el medioambiente (generación de residuos directa por ejecución de proyecto, huella de carbono de los elementos...) sea el mínimo posible, satisfaciendo las necesidades de proyecto.

Además, el modelo BIM puede actualizarse durante la obra, incorporando información sobre las cantidades realmente generadas en obra, dotando de mayor capacidad en la estimación de cantidades de RCD para el estudio de nuevos proyectos futuros.

3.2.7. Fabricación digital

La finalidad de este uso es destinar el modelo BIM para definir el proyecto de manera precisa y exportar la información del mismo con la finalidad de prefabricarlo, bien sea con fabricación aditiva (3D), máquinas fresadoras o corte láser mediante control CNC.

3.2.8. Conclusiones finales

Los usos descritos en los apartados anteriores permiten utilizar los modelos BIM para optimizar el desarrollo del proyecto en la fase de redacción, anticipar interferencias, realizar simulaciones constructivas, profundizar en el comportamiento del proyecto a lo largo del ciclo de vida del mismo y la extracción de mediciones. Es quizás este último punto el que mayor impacto puede tener, ya que a través de la aplicación de coeficientes automatizados, dentro de los propios modelos, se posibilitan otros de los usos relacionados con la gestión de RCD.

Mediante la extracción de estas mediciones y el uso de coeficientes, se pueden obtener estimaciones precisas de los RCD generados, y aplicar las tasas pertinentes para conocer el coste de la gestión de RCD. La figura 3 resume la relación existente entre las fases de desarrollo de proyecto, los usos BIM y posibles técnicas para el tratamiento y reducción de RCD que generan los proyectos.

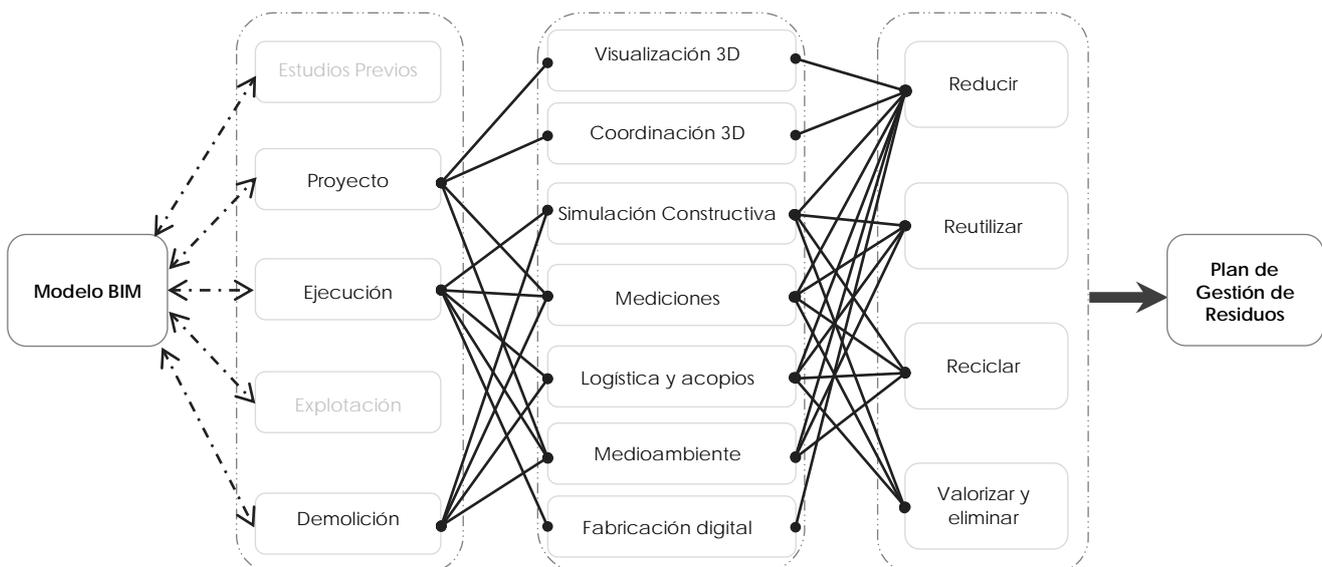


Figura 3. Relación entre usos BIM y gestión de RCD
Adaptación basada en Cheng, Won y Das (2015)

4. PROCEDIMIENTOS DE TRABAJO

Durante los últimos años se han realizado diversos trabajos teóricos donde se han recogido pautas y procedimientos de trabajo que fomentan un uso de BIM dirigido a la mejora en la gestión de RCD. Con objeto de ayudar a definir los criterios a tener en cuenta a la hora de utilizar modelos BIM en gestión de residuos, se procede a continuación a resumir los principales procedimientos desarrollados.

La mayoría de procesos que se han descrito en los trabajos elaborados hasta la fecha se han centrado, principalmente, en explotar la ventaja que suponen los modelos BIM para la obtención de mediciones. A partir de ese punto, las acciones que realiza cada procedimiento varían según cómo se gestiona la información.

Por un lado, están los procedimientos basados en la aplicación del PEB. En el mismo, se indican los pasos necesarios en la elaboración de los modelos BIM con la finalidad de extraer el máximo de beneficios del modelo (coordinación 3D, Visualización 3D, Simulación constructiva, Mediciones...). Es, quizás, la mejor manera de proceder desde el punto de vista de la gestión de la elaboración de los modelos BIM, puesto que se deja claro y definido los pasos a realizar en la gestión de los modelos.

En cambio, otras de los procedimientos propuestos no detallan tanto estos pasos, y se centran más en un uso determinado de los modelos: se focalizan en las mediciones, o en la detección de interferencias, buscando obtener un beneficio anticipando qué tipo de residuos se generan, o detectar errores u omisiones de proyecto en fases tempranas.

Una vez se ha levantado el modelo, existen diferentes enfoques sobre cómo trabajar la información. Están los flujos de trabajo que aprovechan la potencia de los programas de modelado para obtener una estimación de la cantidad de residuos generados. Sin embargo, también hay varios flujos donde aprovechan la información que generan los modelos y la exportan a otro software. El cómo realizan esta acción también varía; por un lado, se han desarrollado pluggins que interactúan dentro de la interfaz del propio programa informático y preparan la exportación de la información; otros, en cambio, aprovechan la capacidad de colaborar en formatos abierto (formatos Open BIM) mediante archivos IFC. Finalmente, existe una tercera vía que desarrolla la exportación mediante archivos de base de datos.

Además de estos enfoques, existe una tercera vía, donde se aplica una gran cantidad de parámetros, y aprovechando el uso de programas de algoritmos visuales, exportan la información a Ansys desde donde realizan simulación de diferentes escenarios y optimizan las soluciones constructivas con el fin de minimizar el impacto y generación de RCDs.

La figura 4 presenta los diferentes tipos de clasificaciones que pueden elaborarse de los procedimientos según estos enfoques que acaban de explicar. La tabla 5 presenta las principales ventajas y características de cada procedimiento analizado.

Tabla 5. VENTAJAS DE LOS PROCEDIMIENTOS PARA MODELOS BIM – RCD		
SEGÚN GESTIÓN MODELO BIM		
PROCEDIMENTADOS	VENTAJAS <ul style="list-style-type: none"> • Concretan acciones a realizar • Actividades bien definidas • Modelo orientado a necesidades cliente 	DESVENTAJAS <ul style="list-style-type: none"> • Implica un esfuerzo de estudio previo aplicación del modelo
SIN PROCEDIMENTAR	VENTAJAS <ul style="list-style-type: none"> • Rápida aplicación/creación del modelo 	DESVENTAJAS <ul style="list-style-type: none"> • Falta estructura coherente • Falta de definición que provoca serios re-trabajos y cambios costosos en el modelo

SEGÚN TRABAJO DE LA INFORMACIÓN		
DENTRO DEL MODELO	<p>VENTAJAS</p> <ul style="list-style-type: none"> Se centraliza la información en un único repositorio Posibilidad de obtención de primera estimación de cantidad RCD de forma ágil 	<p>DESVENTAJAS</p> <ul style="list-style-type: none"> Limitado a las capacidades del programa nativo de modelado Sin un trabajo estructurado y organizado se complica esta opción
MEDIANTE PLUGGIN	<p>VENTAJAS</p> <ul style="list-style-type: none"> Se agiliza la exportación de la información Conexión directa con programas que estudien la gestión de RCD 	<p>DESVENTAJAS</p> <ul style="list-style-type: none"> Existencia de diferentes pluggins, cada uno orientado a sus productos, genera una falta de estandarización Necesidad de adoptar criterios de modelado (nomenclatura, parámetros...) que impliquen sobretrabajo
EXPORTACIÓN IFC	<p>VENTAJAS</p> <ul style="list-style-type: none"> Uso de estándar abierto potenciado en el sector Facilita la interoperabilidad entre programas Estructura los datos e información de forma coherente 	<p>DESVENTAJAS</p> <ul style="list-style-type: none"> Desafío que supone su implantación debido a trabas en la generación y lectura de los archivos generados
EXPORTACIÓN A BASES	<p>VENTAJAS</p> <ul style="list-style-type: none"> Exportación rápida a software especializado Utiliza flujos propios de los programas de modelado garantizando una estandarización mayor que pluggins 	<p>DESVENTAJAS</p> <ul style="list-style-type: none"> Inclusión de gran cantidad de parámetros debido a las posibilidades de estudio que ofrecen los programas dificulta la creación y gestión del modelo
SEGÚN USOS BIM		
VISUALIZACIÓN / REVISIÓN DE DISEÑO	<p>VENTAJAS</p> <ul style="list-style-type: none"> Posibilidad de optimizar y comprender de manera más coherente el proyecto y sus soluciones constructivas 	<p>DESVENTAJAS</p> <ul style="list-style-type: none"> Común a los 4 usos, el orientar únicamente los modelos a sólo un uso implica el no poder optimizar otros aspectos potencialmente mejorables con BIM y no extraer el máximo beneficio en cuanto a la gestión de RCD
COORDINACIÓN 3D / DETECCIÓN INTERFERENCIAS	<p>VENTAJAS</p> <ul style="list-style-type: none"> Detección temprana de errores, omisiones y defectos en proyecto, evitando generación de RCD por re-trabajos en obra 	
MEDICIONES	<p>VENTAJAS</p> <ul style="list-style-type: none"> Estudio de las cantidades de residuos que se generan con las soluciones constructivas de proyecto, permitiendo optimizar y mejorar su gestión 	
SIMULACIÓN 4D	<p>VENTAJAS</p> <ul style="list-style-type: none"> Análisis de la evolución constructiva del proyecto según el cronograma de proyecto, detectando interferencias en movimientos de trabajos y optimizando la generación de residuos derivada de acopios y movimientos incorrectos que generan mermas o roturas de materiales 	

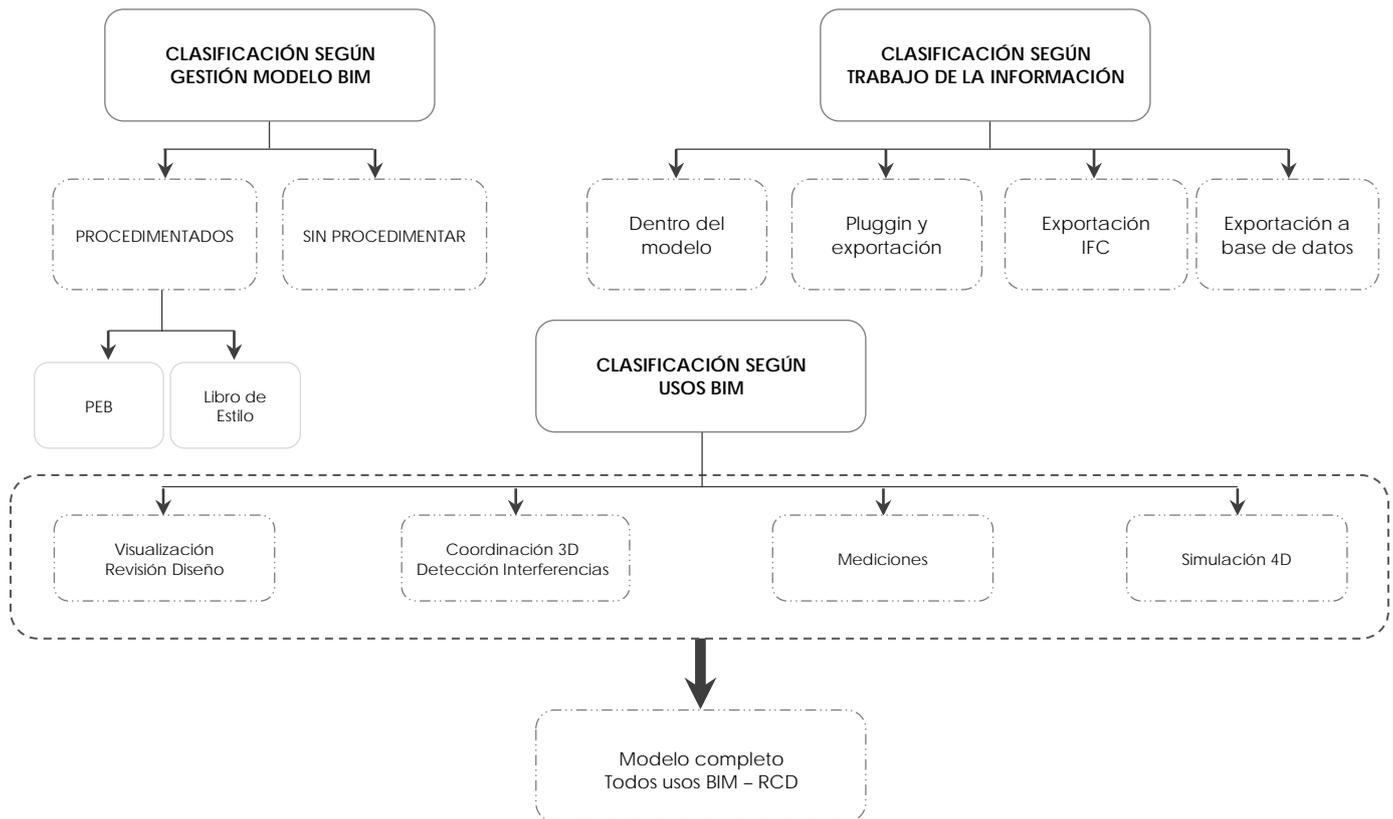


Figura 4. Clasificación de procedimientos según gestión de modelo, trabajo de la información y usos BIM

Por tanto, del análisis de los procedimientos realizados hasta la fecha en cuanto a gestión de modelos BIM para optimizar y mejorar el estudio, generación y tratamiento de RCD se deriva que:

- Conviene realizar procedimientos de trabajo que estandaricen los trabajos a realizar con los modelos, ya que permiten una mayor definición de los elementos del modelo según los usos que se prevén extraer del mismo.
- Estos procedimientos deben ser adaptables y escalables a la necesidad del proyecto; no es lo mismo realizar un PEB para un proyecto de 8 unifamiliares que para 100 viviendas distribuidas en 3 bloques de edificio residencial, los planes deben adaptarse a las necesidades propias del proyecto.
- A día de hoy, con los programas existentes en el mercado de gestión de RCD, en principio destinados a una estimación por tipología constructiva y superficies del proyecto, resulta más indicado adaptar los flujos de trabajo de información a la interfaz interna del software nativo de modelado.
- No obstante, ante un futuro próximo donde se desarrolle software específico para el estudio, optimización y gestión de los RCD generados en obras y proyectos de edificación, se considera importante que el flujo de trabajo esté preparado para ser exportable de manera sencilla llegado el momento. Dentro de las opciones previstas, se considera que el uso del formato IFC, estándar abierto e interoperable para software BIM, resulta la opción idónea.
- Finalmente, para obtener el máximo beneficio del uso y aplicación de BIM, cuanto más usos BIM se implementen, más rica será la información y más completo será el estudio de la gestión de RCD. Sin embargo, llegado a este punto, conviene realizar una advertencia, y es el riesgo de caer en el "sobremodelado" o exceso de información, haciendo de una labor sencilla una actividad compleja, con múltiples pasos a seguir y que generen trabas a la labor de estudio del proyecto. Es por ello que resulta clave definir de manera clara y precisa qué se espera del modelo, y buscar la creación de parámetros con el concepto de "**menos es más**", dando el máximo de información con el mínimo de elementos.

5. PROPUESTA CRITERIOS MODELADO BIM – RCD

El apartado actual presenta una propuesta de criterios de modelado que faciliten la creación de modelos orientados al estudio, optimización y gestión de los RCD en proyectos de Edificación. Los usos BIM que pretende fomentar son:

- Visualización 3D – Revisión del diseño
- Coordinación 3D – Detección de Interferencias
- Mediciones – Estimación de cantidades
- Medioambiente – Información del ciclo de vida
- Simulación constructiva (orientándola a la SST)

Estos usos, tienen por finalidad dar respuesta a las necesidades identificadas en el proyecto *RCdiGREEN*. EFA 336/19, dentro del grupo de acción **4. Diseño de una estrategia de valorización de los residuos de construcción y demolición**, actividad **A6 Diseño e implementación de metodologías innovadoras para la separación de residuos y la ejecución de procesos de reciclado**. Como objetivos se presentan:

- Establecer criterios de modelado orientados a los RCD útiles para obra nueva y rehabilitación
- Ayudar a la comprensión para proyectar soluciones constructivas bajo criterios de De-construcción
- Permitir el estudio de medidas de SST vinculadas al estudio de la gestión de residuos

La propuesta de criterios se fundamenta en dos puntos clave:

- Presentación de un proceso de modelado en el que se orienten los criterios básicos de redacción a los usos descritos en el epígrafe inicial del presente apartado
- Establecimiento de un mínimo de parámetros a completar, exigiendo un LOD mínimo a los elementos afectados, de manera que se pueda realizar una estimación de la cantidad de RCD generados en el proyecto

Se busca que estos criterios sean globales; esto es que puedan ser utilizados en las diferentes plataformas de modelado existentes en el mercado. Además, para facilitar su uso y extensión al resto del sector, se quiere potenciar su “usabilidad”. Por ello se utiliza como guión el esquema que presentan las Guías de Usuarios BIM (Guía uBIM) de España. Estas guías, adaptadas del COBIM finlandés, son útiles para el establecimiento de unos criterios de modelado según disciplinas y usos del modelo. Siguiendo esta estructura, se pretende presentar un primer borrador de aquellos criterios de modelado que deben tenerse en cuenta para vincular el potencial de BIM a la gestión de RCD en proyectos de edificación.

Por tanto, el diseño y creación de unos criterios básicos de modelado orientados a los usos BIM *Visualización 3D, Coordinación 3D, Mediciones, Medioambiente y Simulación Constructiva* son una herramienta válida que dé respuesta a las necesidades planteadas a la gestión de RCD y con aplicación tanto a proyectos de obra nueva como de rehabilitación. Estos criterios se conciben para posibilitar el trabajo de la información dentro del software nativo, pero están preparados para su futura exportación en formatos de archivo abierto mediante formato IFC.

Además, adaptando unos criterios LOD, se obtendrán más o menos ventajas según sea la definición de los elementos del modelo, obteniendo más beneficios cuanto mayor sea la clasificación LOD exigida. Los usos a los que se destine el modelo, desde un punto de vista de la gestión de RCD, por tanto, quedarán también vinculados al desarrollo del nivel de información de los elementos que se modelen.

A lo largo de los siguientes apartados se introduce la estructura de la guía uBIM, para una vez comprendida la misma, resaltar las claves a considerar a la hora de establecer los criterios de modelado. Finalmente, en el Anexo B se presentan los principales criterios siguiendo el esquema de las guías uBIM.

5.1. GUÍAS uBIM

Se tratan de un documento que surge dentro del marco del congreso EUBIM 2013, donde “se planteó una iniciativa de estandarización denominada uBIM”. Se buscó la redacción de una guía para el desarrollo de modelo BIM para los usuarios de habla hispana. De esta forma surgen una serie de documentos que conforman una guía de recomendaciones y de fácil adaptación, que facilitan unos criterios básicos a la hora de coordinar y generar los diferentes modelos por disciplinas de manera precisa y adecuada al uso que necesita el sector.

Esta serie de documentos se engloban dentro de la iniciativa de normalización y el fomento de estándares abiertos que realiza la buildingSMART desde su capítulo en España. Su contenido en sí es fruto de la adaptación del COBIM Finlandés, elaborado por el capítulo homólogo al de España, elaboradas en 2012, y adaptadas a la normativa y al contexto del sector en España.

La guía está compuesta por un total de 13 documentos, que se vieron incrementados con un documento más en 2018. El contenido se resume en la tabla 6.

Tabla 6. ESTRUCTURA DOCUMENTOS GUÍAS uBIM	
Capítulo	Descripción
1. Parte general	Establece los objetivos del BIM, los requisitos técnicos (software, información del modelo...) y la generación y diferentes usos del modelo en las distintas fases del proyecto.
2. Modelado del estado actual	Facilita definiciones generales, establece los requisitos de datos de origen y del modelado, define la documentación que debe redactarse y asegura su calidad
3. Diseño arquitectónico	Define los fundamentos del modelo en el proyecto arquitectónico, establece los requisitos según la fase en la que se encuentre y explica cómo funciona BIM en la rehabilitación de edificios.
4. Diseño de las instalaciones	Establece los requisitos para el modelado de instalaciones, se explican sistemas BIM para el proyecto de instalaciones y define modelos BIM para electricidad, telecomunicaciones, automatización del edificio, modelos combinados y la obra ejecutada as-built.
5. Diseño estructural	Facilita unas definiciones generales, determina el grado de definición según la fase del proyecto y el modelado en obras de rehabilitación
6. Aseguramiento de la calidad	Explica que documentos deber ser comprobados y se establecen unas responsabilidades.
7. Mediciones	Establece los requisitos a cumplir por el modelo, los métodos para realizar las mediciones y los principales problemas a detectar
8. Visualización	Define los objetivos de la visualización, explica cómo hacer ilustraciones o visualizaciones y cómo afectan según la etapa en la que se encuentre
9. Análisis de las instalaciones	Explica cómo realizar simulaciones de eficiencia energética, ciclo de vida, soleamiento, iluminación, etc
10. Análisis energéticos	Analiza la relación del BIM con software energético y el análisis energético según la fase del proyecto
11. Gestión de proyectos	Explica los principios de la Gestión de Proyectos basada en un modelo BIM y las tareas de la gestión en cada etapa del proyecto
12. Facility Management	Analiza los modelos BIM durante la fase (uso, mantenimiento y explotación), el proceso de la gestión, la transferencia del modelo en IFC y procesos de actualización de los modelos BIM
13. Construcción	Establece los requisitos para los modelos para la empresa constructora, las diferentes opciones de utilización de BIM y la entrega de un modelo final “as-built” de la obra ejecutada
14. Patrimonio cultural	Busca facilitar criterios para la correcto implantación de BIM en el ámbito del Patrimonio Cultural, tratando de adaptarlos a la legislación nacional y regional, ordenaciones, planes y demás herramientas que fomentan su protección

5.2. GESTIÓN DE PARÁMETROS IFC

El formato IFC (*Industry Foundation Classes*) es un conjunto de datos de especificación abierta, que fue desarrollada por Alianza Internacional por la Interoperabilidad, tiene por objetivo convertirse en un estándar que posibilite la interoperabilidad entre programas. Facilita un formato neutro de datos para describir, modificar y compartir información dentro del sector de la Construcción.

El IFC es la norma internacional que defiende el Open BIM, registrada como ISO 16739. La entidad actual que se encarga de su desarrollo y actualización es la buildingSMART.

La finalidad, en un entorno ideal, se utilizan estos archivos con la finalidad de coordinar las diferentes disciplinas, principalmente en un programa visor IFC, aunque también es posible realizar este flujo de trabajo dentro de la plataforma de edición BIM.

El formato está compuesto por una estructura lógica donde se almacenan los diferentes elementos del modelo, según unas unidades jerárquicas IFC. La complejidad, o los problemas, surgen en cómo “traducen” los diferentes programas nativos BIM los tipos de elementos a las unidades jerárquicas IFC.

Se considera a IFC un archivo de intercambio porque permite exportar la información y geometría sin alterar la estructura total. Todos los elementos tienen una posición precisa en el espacio y se estructuran según su categoría, característica y función.

La jerarquía del archivo IFC es la siguiente:

- IFC Project
- IFC Site
- IFC Building
- IFC Buildingstorey
- IFC Building element

Estas clases estructuran los archivos IFC. Permite, en primer lugar, identificar el proyecto. A continuación se clasifican las parcelas, para a continuación indicar los edificios que contiene. Ya dentro de la estructura de cada edificio, se clasifica según niveles/plantas de proyecto, y por último, los elementos del modelo, según las clases IFC existentes.

Son, precisamente, los elementos del modelo, los que interesan a la hora de desarrollar la propuesta de criterios de modelado orientados a la gestión de RCD, puesto que se les puede aplicar un conjunto de propiedades específicas.

Estos conjuntos de propiedades, conocidos por su nombre en inglés, *Property Sets*, son parámetros adicionales asignados a los elementos del modelo. Constan de dos tipos, estándares y no estándares:

- Los estándares son definidos por buildingSMART, y tienen la característica de que su nombre comienza por “Pset_”
- Los no estándares los define el usuario desde el propio programa de modelado, asignando algún nombre de propiedad y englobándolos en algún conjunto de propiedades configurado.

En conclusión, IFC es un conjunto de datos que favorece la interoperabilidad entre diferentes plataformas, fomentando una mayor y mejor colaboración. Como se comenta en el **apartado 5.3**, una de las claves que debe considerarse en el diseño de los criterios de modelado, deben estar preparados para trabajar en la plataforma nativa de trabajo pero a su vez ser exportables. Esta necesidad es la que, unida a las características que presenta el formato IFC con los conjuntos de propiedades, hace necesario vincular los criterios de modelado orientados a la gestión de residuos con parámetros exportables mediante formato IFC.

5.3. CONSIDERACIONES CLAVE DEL PROCEDIMIENTO

Como resumen de toda la documentación introducida hasta el momento, y de manera previa a la introducción del documento de criterios básicos de modelado orientado a la gestión de RCD, es conveniente recordar los criterios básicos que deben regir el desarrollo de la guía, los pilares que sustentan los criterios facilitados.

1. El trabajo de modelo que desarrolla la guía, en cuanto a criterios de modelado, debe contemplarse como parte del PEB de proyecto. Esto se debe a que el trabajo debe realizarse de forma coherente y estructurada y la mejor manera es hacer uso de las herramientas de gestión disponibles. En caso de no colaborar de forma externa con otros agentes, y no querer desarrollar un PEB del proyecto (lo cual se desaconseja), debe existir un procedimiento interno en la empresa/estudio que estructure el proceso, el Libro de Estilo
2. Los parámetros a desarrollar deben ser un número razonable, suficientes para definir la información necesaria que posibilite la gestión de RCD mediante el modelo BIM, pero sin resultar excesivos, impidiendo una labor ágil en el modelo. Por ello, conviene dotar de escalabilidad a los criterios, pudiendo ser más o menos desarrollados según los usos que se prevean en el PEB en cuanto a gestión de RCD. Para dotar de esta versatilidad a los criterios facilitados, se crearán unos parámetros como una Estructura de Desglose de Trabajo (EDT), y según se defina el LOD exigido a los elementos, y los usos BIM, todo contemplado en el PEB, se desarrollarán en más o menos niveles
3. Tal y como se ha introducido en el epígrafe 2, los criterios de modelado deben estar estrechamente ligados al LOD. No se debe exigir el mismo nivel de desarrollo de información a todos los elementos, si no se va a ejecutar ese uso concreto BIM. Por ello resulta clave y necesario que la guía con criterios de modelado se adapte a las necesidades del proyecto según sea exijan usos BIM en el PEB
4. En relación a los epígrafes 2 y 3, cabe destacar que los criterios que se diseñen para el modelado deben ser adaptables al proyecto, en dos sentidos:
 - A las características de proyecto, en cuanto a dimensiones, presupuesto, plazo y complejidad. Es importante debido a que estos 4 factores influyen en la decisión de que LOD exigir. No es lo mismo tener un plazo estrecho o más grande para trabajar los modelos
 - A los usos descritos en el PEB de proyecto. En función de qué se solicite al modelo, el nivel de información exigido a los parámetros de los diferentes elementos que componen el modelo será mayor o menor. La cantidad de parámetros que se ven afectados están condicionados por los usos, ya que no es lo mismo desarrollar un modelo para uso mediciones, simulación constructiva y coordinación 3D, o únicamente para mediciones
5. Deben ser unos criterios versátiles. Actualmente, la oferta de software BIM disponible en el mercado es amplia. La finalidad de estos criterios es que sean de un uso potencialmente amplio, sin condicionar el uso de una plataforma específica, dejando a elección del usuario el programa con el que trabaje
6. El trabajo con la información debe diseñarse para realizarse de diferentes maneras. En un primer momento, debe facilitarse la opción de trabajo y desarrollo de la información sobre RCD en la propia plataforma de trabajo BIM, mientras que a vistas de un mejor desarrollo de programas de gestión de RCD en un futuro próximo, deben ser parámetros y criterios que favorezcan la exportación a dicho software. Tras el análisis realizado en el punto 3, y concluido en el punto 4, queda claro que, con la intención de fomentar un mayor uso e interoperabilidad, este intercambio de la información entre los diferentes programas informáticos deberá ser llevado a cabo mediante el formato IFC, estándar de trabajo abierto que se ha implantado en la metodología BIM

Como resultado, con la aplicación de estas consideraciones claves, se obtiene una guía, basada en la estructura de la guía uBIM, que busca fomentar una mejor gestión de RCD mediante el uso de modelos BIM. La figura 5 resume los elementos clave que han dirigido la redacción de la guía, disponible en el **anexo B**.

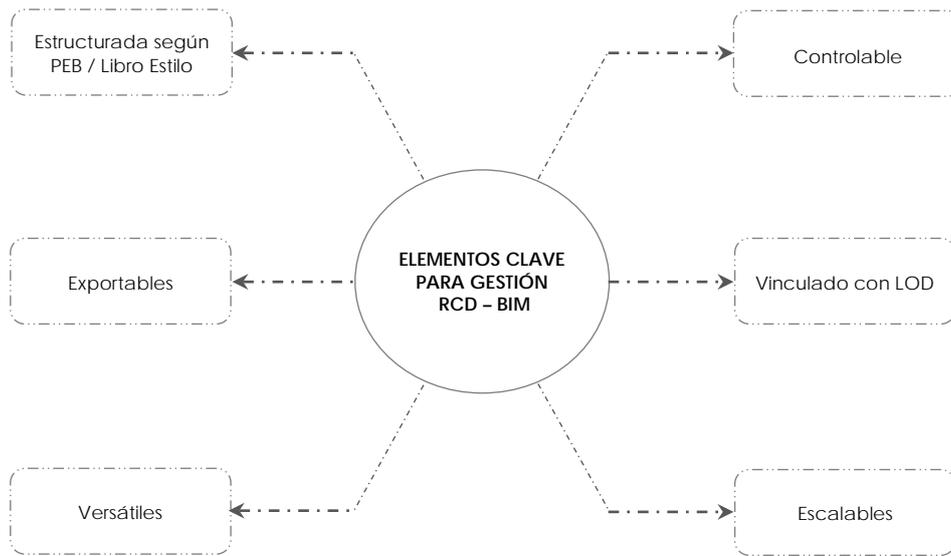


Figura 5. Elementos clave en el desarrollo de los criterios básicos de modelado BIM para RCD

Como nota final, y a modo de advertencia, cabe destacar que la propuesta que se realiza de criterios de modelado orientados a la gestión de RCD es una propuesta, la cual para que realmente sea válida debe ser contrastada con profesionales del sector. Convendría que estas personas fueran expertas en diferentes plataformas BIM para enriquecer el documento y dotarle de una mayor utilidad para todos los software.

6. BIBLIOGRAFÍA

AENOR, UNE-EN ISO 19650-1:2019, 46 (2019).

Akinade, O. O., & Oyedele, L. O. (2019). Integrating construction supply chains within a circular economy: An ANFIS-based waste analytics system (A-WAS). *Journal of Cleaner Production*, 229, 863–873. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.232>

Akinade, O. O., Oyedele, L. O., Ajayi, S. O., Bilal, M., Alaka, H. A., Owolabi, H. A., & Arawomo, O. O. (2018). Designing out construction waste using BIM technology: Stakeholders' expectations for industry deployment. *Journal of Cleaner Production*, 180, 375–385. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.022>

Akinade, O. O., Oyedele, L. O., Bilal, M., Ajayi, S. O., Owolabi, H. A., Alaka, H. A., & Bello, S. A. (2015). Waste minimisation through deconstruction: A BIM based Deconstructability Assessment Score (BIM-DAS). *Resources, Conservation and Recycling*, 105, 167–176. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.10.018>

Anumba, C., Dubler, C., Goodman, S., Kasprzak, C., Kreider, R., Messner, J., Saluja, C., & Zikic, N. (2010). *The BIM Project Execution Planning Guide and Templates*. University Park, PA, USA The Pennsylvania State University.

Azhar, S. (2011). Building information modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry. *Leadership and Management in Engineering*. [http://ascelibrary.org/doi/10.1061/\(ASCE\)LM.1943-5630.0000127](http://ascelibrary.org/doi/10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127)

Barroso Domínguez, V. M. (2013). Análisis de la gestión de residuos de construcción y demolición en la Comunidad Autónoma de Andalucía.

Bertin, I., Mesnil, R., Jaeger, J. M., Feraille, A., & Le Roy, R. (2020). A BIM-based framework and databank for reusing load-bearing structural elements. *Sustainability (Switzerland)*, 12(8), 1–24. <https://doi.org/10.3390/SU12083147>

buildingSMART España. (2018). Guías uBIM. <https://www.buildingsmart.es/recursos/guías-ubim/>

buildingSMART Finlandia. (2012). Common BIM Requirements 2012. <https://buildingsmart.fi/en/common-bim-requirements-2012/>

Cai, G., & Waldmann, D. (2019). A material and component bank to facilitate material recycling and component reuse for a sustainable construction: concept and preliminary study. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 21(10), 2015–2032. <https://doi.org/10.1007/s10098-019-01758-1>

Cheng, J. C. P., & Ma, L. Y. H. (2013). A BIM-based system for demolition and renovation waste estimation and planning. *Waste Management*, 33(6), 1539–1551. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.01.001>

Cheng, J. C. P., Won, J., & Das, M. (2015). Construction and demolition waste management using bim technology. *Proceedings of IGLC 23 - 23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction: Global Knowledge - Global Solutions*, 2015-Janua, 381–390.

ECORYS. (2016). Protocolo de gestión de residuos de construcción y demolición en la UE.

Elmaraghy, A., Voordijk, H., & Marzouk, M. (2018). An exploration of BIM and lean interaction in optimizing demolition projects. *IGLC 2018 - Proceedings of the 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction: Evolving Lean Construction Towards Mature Production Management Across Cultures and Frontiers*, 1, 112–122. <https://doi.org/10.24928/2018/0474>

EsBIM. (2017). Plan de ejecución BIM. http://www.esbim.es/wp-content/uploads/2017/07/esBIM_Guia-BEP.pdf

EsBIM. (2018). Guía Transversal para la elaboración del Plan de Ejecución BIM.

REAL DECRETO 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición, (2008).

Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados, (2011).

España, G. de. (2021). Tierras y Escombros - Ciclo de gestión y tratamiento. <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/tierras-y-escombros/Cual-es-ciclo-gestion-como-pueden-tratarse.aspx>

- Graphisoft. (2018a). Mapeado de Propiedades para la Exportación IFC. https://help.graphisoft.com/AC/22/SPA/_AC22_Help/115_IFC/115_IFC-38.htm#XREF_24995_Data_Mapping
- Graphisoft. (2018b). Tipos de datos IFC. https://help.graphisoft.com/AC/22/SPA/_AC22_Help/115_IFC/115_IFC-47.htm#XREF_35132_IFC_Model_Hierarchy
- Hernández González, F. J. (2017). Estimación de Residuos derivados de la Construcción y Demolición en Obra Civil. Universidad de Valladolid.
- IFC Workshop. (2015). Qué es IFC. http://www.ifcworkshop.es/secciones/ifc/ifc_BIM.html
- IFCWiki. (2011). Basic Informations. http://www.ifcwiki.org/index.php/Basic_Information
- IHOBE. (2018). Cómo promover la economía circular con la compra y contratación pública verde.
- Jalaei, F., Zoghi, M., & Khoshand, A. (2021). Life cycle environmental impact assessment to manage and optimize construction waste using Building Information Modeling (BIM). *International Journal of Construction Management*, 21(8), 784–801. <https://doi.org/10.1080/15623599.2019.1583850>
- Kartam, N., Al-Mutairi, N., & Al-Ghusain, I. (2004). Environmental management of construction and demolition waste in Kuwait. *Waste Management*, 24, 1049–1059.
- Kern, A. P., Dias, M. F., & M.P., K. (2015). Waste generated in highrise buildings construction: a quantification model based on statistical multiple regression. *Waste Management*, 39, 35–44.
- Kim, Y. C., Hong, W. H., Park, J. W., & Cha, G. W. (2017). An estimation framework for building information modeling (BIM)-based demolition waste by type. *Waste Management and Research*, 35(12), 1285–1295. <https://doi.org/10.1177/0734242X17736381>
- Kreider, R., Ralph, G., & Messner, J. (2013). The Uses of BIM: Classifying and Selecting BIM Uses. <http://bim.psu.edu>
- Latorre, A. (2015). Filosofía Lean en la construcción. UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA. <https://riunet.upv.es/handle/10251/50732>
- Latorre, Asier. (2019). Implementación de modelo CsP-BIM para el desarrollo de Proyectos de Edificación en PYMES. Universidad de Navarra.
- Latorre, Asier, Sanz, C., & Sánchez, B. (2018). Aplicación del 8D y de los principios Lean para la mejora de la seguridad y prevención de obras de edificación. *CONTART La Convención de La Construcción*.
- Latorre, Asier, Sanz, C., & Sánchez, B. (2019). Aplicación de un modelo Lean-BIM para la mejora de la productividad en redacción de proyectos de edificación. *Informes de La Construcción*, 71, 556. <https://doi.org/https://doi.org/10.3989/ic.67222>
- Li, C. Z., Zhao, Y., Xiao, B., Yu, B., Tam, V. W. Y., Chen, Z., & Ya, Y. (2020). Research trend of the application of information technologies in construction and demolition waste management. *Journal of Cleaner Production*, 263. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121458>
- Lu, W., Webster, C., Chen, K., Zhang, X., & Chen, X. (2017). management: Moving from rhetoric to reality crossmark. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68(September 2016), 587–595. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.029>
- Mercader-moyano, P., Arellano-agudo, A. R. De, & Cózar-cózar, E. (2017). Sistema BIM de cuantificación automática de los residuos de construcción y demolición. Método de transferencias ponderadas de la medición. *Facultad De Arquitectura Y Urbanismo Universidad Nacional De La Plata*, 15(2), 499–507.
- Messner, J., Anumba, C., Dubler, C., Goodman, S., Kasprzak, C., Kreider, R., Leicht, R., Saluja, C., Zikic, N., & Bhawani, S. (2019). *BIM Project Execution Planning Guide, Version 3.0*.
- Moliner, E., Sanfélix, J., Garraín, D., & Vidal, R. (2010). Nuevas estrategias en la gestión de residuos de construcción y demolición. *XIV International Congress on Project Engineering*, 1275–1286.



- Nikmehr, B., Hosseini, M. R., Wang, J., Chileshe, N., & Rameezdeen, R. (2021). BIM-Based Tools for Managing Construction and Demolition Waste (CDW): A Scoping Review. *Sustainability*, 13(15), 8427. <https://doi.org/10.3390/su13158427>
- Pdemianlboroacuk, P. D. (2015). A BIM-aided construction waste minimisation framework Mohamed Osmani. 59(November), 1–23.
- Poon, C. S., Yu, A. T. W., & Jaillon, L. (2004). Reducing Building Waste at Construction Sites in Hong Kong. *Journal of Construction Management and Economics*, 22, 461–470.
- Sacks, R., Treckman, M., & Rozenfeld, O. (2009). Visualization of Work Flow to Support Lean Construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 135(12), 1307–1315.
- Sánchez, B. (2013). Fundamentos de la Gestión de Residuos en las Obras de Construcción y Demolición. In *Gestión de Obras* (p. Módulo 6-Documento 01).
- Solís-Guzmán, J., Marrero, M., Montes-Delgado, M. V., & Ramírez-de-Arellano, A. (2009). A Spanish model for quantification and management of construction waste. *Waste Management*, 29(9), 2542–2548. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.05.009>
- Unidas, N. (2020a). Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2020.
- Unidas, N. (2020b). Objetivos y metas de desarrollo sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>
- Wang, J., Li, Z., & Tam, V. W. (2014). Critical factors in effective construction waste minimization at the design stage: a Shenzhen case study, China. *Resources, Conservation and Recycling*, 82, 1–7.
- Won, J., & Cheng, J. C. P. (2017). Identifying potential opportunities of building information modeling for construction and demolition waste management and minimization. *Automation in Construction*, 79, 3–18. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.02.002>
- Won, J., Cheng, J. C. P., & Lee, G. (2016). Quantification of construction waste prevented by BIM-based design validation: Case studies in South Korea. *Waste Management*, 49, 170–180. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.12.026>
- Xu, J., Shi, Y., Xie, Y., & Zhao, S. (2019). A BIM-Based construction and demolition waste information management system for greenhouse gas quantification and reduction. *Journal of Cleaner Production*, 229, 308–324. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.158>
- Yeheyis, M., Hewage, K., Alam, M. S., Eskicioglu, C., & Sadiq, R. (2013). An Overview of Construction and Demolition Waste Management in Canada: A Lifecycle Analysis Approach to Sustainability. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 15, 81–91.
- Zoghi, M., & Kim, S. (2020). Dynamic modeling for life cycle cost analysis of BIM-based construction waste management. *Sustainability (Switzerland)*, 12(6). <https://doi.org/10.3390/su12062483>

ANEXO A

Listado de acrónimos

AR →	Realidad Aumentada
BEP →	BIM Execution Plan
BIM →	Building Information Modelling
CsP →	Construcción sin Pérdidas
EDT →	Estructura de desglose de trabajo
IFC →	Industry Foundation Classes
LOI →	Level of Information
ODS →	Objetivos de desarrollo sostenible
PEB →	Plan de Ejecución BIM
RCD →	Residuos de construcción y demolición
RD →	Real Decreto
SST →	Seguridad y Salud en el Trabajo
VR →	Realidad Virtual





ANEXO B

PROCEDIMIENTO DE MODELADO ORIENTADO A LA GESTIÓN DE RESIDUOS



ÍNDICE

B1. GESTIÓN DE RESIDUOS CON BIM	3
B1.1. SISTEMAS DE INFORMACIÓN DIGITAL	4
B1.1.1. PEB como eje vertebrador	4
Formato de trabajo	5
Definición del alcance y usos	5
Transferencia de información y requisitos	6
B1.1.2. Modelado	6
Estrategias de modelado	7
Consistencia	8
Nivel de Información Necesario	9
B1.2. VENTAJAS DEL USO BIM PARA GESTIÓN RCD	11
B1.2.1. Visualización 3D – Revisión del diseño	12
B1.2.2. Coordinación 3D – Detección interferencias	12
B1.2.3. Simulación constructiva	12
B1.2.4. Mediciones – Estimación de cantidades	12
B1.2.5. Logística y acopios – Replanteo en obra	12
B1.2.6. Medioambiente – Información del ciclo de vida	12
B1.2.7. Fabricación digital	12
B1.3. REQUISITOS PARA USOS RECOGIDOS EN EL BEP	13
B1.3.1. Objetivo BIM	13
B1.3.2. Usos BIM orientados a la gestión RCD	13
B1.3.3. Requisitos	13
B1.3.4. Definición de parámetros según usos	15
Criterios orientados a la visualización 3D	15
Criterios orientados a la coordinación 3D	15
Criterios orientados a la simulación constructiva	16
Criterios orientados a la obtención de mediciones	17
Criterios orientados a la logística y acopios	17
Criterios orientados al medioambiente	18
Criterios orientados a la fabricación digital	18
B1.4. CONCLUSIONES PROCEDIMIENTO PARA GESTIÓN RCD	18
B1.5. FUTURAS LÍNEAS DE DESARROLLO	19

Índice de figuras

Figura 1. Resumen planteamiento requisitos información BIM para estudio RCD	4
Figura 2. Resumen procedimiento y criterios trabajo	19

Índice de tablas

Tabla 1. Definición mínima de los conceptos del NIN	9
Tabla 2. NIVELES DE CLASIFICACIÓN LOD	10
Tabla 3. FASES DEL PROYECTO – LOD – DIMENSIONES BIM.	10
Tabla 4. CRITERIOS PARA LA DETERMINACIÓN DE REQUISITOS	14

B1. GESTIÓN DE RESIDUOS CON BIM

La metodología BIM aplicada al estudio de gestión de residuos de proyectos de edificación conlleva una serie de ventajas que permiten la optimización y mejora del tratamiento de RCD, favoreciendo una mejor comprensión del proyecto. Esta mejora se produce mediante la aplicación de los modelos a diferentes usos, resultando el principal beneficio una extracción precisa y efectiva de las mediciones del proyecto, a partir de las cuales se puedan estimar los RCD que se generan en obra de manera fidedigna al proyecto, y obteniendo un mayor conocimiento del comportamiento del ciclo de vida del proyecto y su impacto en el medioambiente mediante el cálculo de la huella de carbono.

Estos dos usos resaltados, por su importancia en el estudio e impacto de los RCD generador en construcción, no son los únicos que conllevan una ventaja respecto al estudio y análisis de los RCD. Existen otros cuya aplicación, en mayor o menor medida, generan un impacto positivo desde la perspectiva de buscar una reducción del impacto medioambiental que generan los RCD.

A lo largo del presente documento se estudia cómo orientar el uso de modelos BIM, cómo adaptar los procedimientos que implica esta metodología, a la mejora en la gestión del estudio de RCD que se genera en obras de construcción. Por su importancia en el impacto final de los RCD, la obtención de las mediciones de proyecto posee una importancia superior en cuanto a otros requisitos del modelo BIM, no obstante conviene no olvidar la importancia que tiene el estudio completo del resto de aplicaciones con un impacto positivo en la gestión de RCD mediante el empleo de modelos BIM.

El efecto que generan los modelos BIM en los flujos de trabajo tradicionales es grande. La mejora en la visualización, el fomento de la colaboración y una búsqueda de una mayor coordinación entre agentes, desde fases tempranas del mismo, bien ejecutado, posee un impacto positivo en cuanto a una mejora de la carga de trabajo, al centralizar la información en un único repositorio y facilitar el estudio del proyecto.

No obstante, esto no quiere decir que el uso de modelos BIM sea un “botón mágico” que realiza los proyectos de manera automática. Se necesita de un conocimiento técnico y de la habilidad del profesional responsable del proyecto. Este cambio que conlleva el uso de metodología BIM requiere igualmente de las capacidades y habilidades técnicas de los profesionales del sector. Lo que sí supone es una gran ayuda para la mejora y optimización de los proyectos desde fases tempranas del mismo.

El contenido del documento no es un manual de instrucciones sobre cómo elaborar manuales BIM. Para ello ya existen diferentes documentos con un contenido de calidad. El propósito del documento es el establecimiento de una serie de parámetros que facilite el estudio y gestión de RCD mediante la utilización de modelos BIM. El uso de los parámetros dependerán de:

- El uso al que se destine el modelo
- La fase en la que se encuentre el proyecto
- El nivel de información necesario (LOI)

El documento especifica una serie de determinados parámetros según sean las demandas en cuanto al uso, la fase y los requisitos de información que se reclamen. Estos requisitos de información y la definición de los usos deben adecuarse al contenido que refleje el Plan de Ejecución BIM (PEB), documento que debe facilitar las pautas y requisitos en cuanto a la elaboración del modelo y los flujos de trabajo de esta metodología.

No es finalidad del presente documento presentar qué tipos de estrategia de modelado existen frente a los diferentes usos que a los que se puede destinar el modelo BIM. Para ello existen en la actualidad diferentes documentos, manuales y guías que fomentan una determinada estrategia adecuada al uso destinado. En el contexto nacional, el capítulo español de la buildingSMART editó y se encarga de actualizar una serie de documentos que facilitan recomendaciones y criterios básicos para elaborar modelos BIM según disciplinas: la guía uBIM. El presente documento se ha elaborado persiguiendo el mismo espíritu, buscando generar una guía de recomendaciones para el estudio de RCD mediante el uso de modelos BIM. Para el caso concreto de estrategias y criterios de modelado a nivel general de BIM, se recomienda la lectura de dichas guías.

Cabe **destacar** que los criterios que se reflejan en el presente documento son **útiles** tanto para edificios de **nueva planta** como para proyectos de **rehabilitación**. La **clave** radica en el momento del desarrollo del **PEB**, que es donde se establecen los **principales criterios** y acuerdos de **modelado**. Es entonces cuando se debe **establecer la necesidad** de que, en los proyectos de rehabilitación, se levanten **modelos del estado actual** del edificio con la finalidad de estudiar la mejor manera de **de-construir** y **optimizar** la gestión de los RCD generados en el proceso.

El uso de los modelos BIM debe permitir, posteriormente, diseñar y proyectar edificios bajo criterios de de-construcción. No únicamente centrarse en las soluciones constructivas actuales, sino interpretar y optimizar cómo el edificio, al final de su vida útil, pueda ser de-construido, buscando en última instancia la elaboración de proyectos 100% de-construibles.

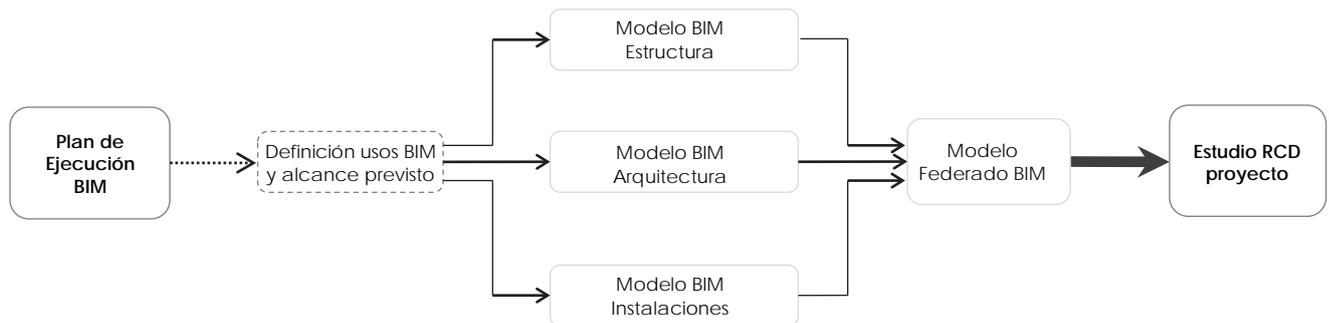


Figura 1. Resumen planteamiento requisitos información BIM para estudio RCD

B1.1. SISTEMAS DE INFORMACIÓN DIGITAL

El uso de metodología BIM contribuye a un mayor fomento de la colaboración en el sector de la construcción. Facilita la participación desde fases tempranas de varios agentes intervinientes en proyecto. Para dar viabilidad a esta manera de trabajar, el uso del modelo BIM como repositorio central de la información de proyecto resulta clave. Ello es viable gracias al avance tecnológico que permite el uso de modelos 3D paramétricos como sistemas de información digital.

Este concepto integrador que poseen los modelos BIM tiene como peculiaridad la necesidad de definir de antemano qué información debe introducirse en los mismos. Siendo cierto que la aplicación de BIM conlleva una serie de ventajas y beneficios, también lo es que implica un mayor trabajo en fases tempranas de proyecto, lo cual favorece un mejor resultado global en el cómputo global de proyecto. Es por ello que se necesita definir de antemano qué se espera obtener mediante la aplicación de BIM debido a que la estrategia de modelado variará según sea el uso al que se destine. Para realizar esta función, existe el Plan de Ejecución BIM (PEB), documento con carácter contractual en el cual se define el proceso de colaboración y los usos a los que se destina el modelo BIM, entre otros aspectos.

B1.1.1. PEB como eje vertebrador

El correcto funcionamiento de la metodología BIM, ya sea orientada a la gestión de RCD, o a otro uso, necesita de un sistema de información estructurado, que permita aportar datos que se definirán según el uso al que se destine el modelo. En este contexto, la definición de un PEB resulta clave para establecer las reglas de colaboración entre los agentes participantes y fijar los requisitos de información que debe poner implementar y gestionar el modelo BIM.

Para estructurar esta información se debe establecer una serie de parámetros mínimos a rellenar, según el uso al que se destine el modelo, que permitan una evolución lógica conforme avanza el estado de proyecto, constituyendo un sistema coherente y facilitando la gestión de la información de manera sencilla y eficiente.

El desarrollo del PEB fomenta el definir, coordinar y gestionar la estrategia para el desarrollo y documentación de los modelos BIM mediante la definición de herramientas de colaboración, control la calidad de los modelos y gestión de la comunicación, así como la elaboración de un protocolo de elaboración del modelo en sí que rijan el proceso de modelado a lo largo del ciclo de vida útil del mismo.

Por tanto, su función es la de servir como guía a todos los integrantes del proyecto, sean de la organización que sean, posibilitando la gestión y coordinación de manera colaborativa de la ejecución de modelos mediante flujos BIM, bajo unos mismos criterios claramente definidos y que permitan el uso del modelo para fines distintos previamente definidos.

Entre el contenido que se define dentro del PEB, deberá hacerse referencia al formato de trabajo, definir el alcance y uso del modelo y establecer la transferencia de información y requisitos.

Formato de trabajo

Dentro de la definición de los entregables del proyecto que contiene el PEB, deben definirse los formatos de los mismos según la tipología. A continuación se recogen alguno de los formatos estándar de los principales documentos que deben contemplarse en la definición del PEB:

- Imágenes: .jpg, .png, .bmp, .psd
- Informes: .doc, .pdf, .html, .csv
- Modelado 3D: archivos en formato nativo del software utilizado
- Presupuestos: .pzh, .presto, .dbd, .g10, .bc3, .xls

Los formatos de trabajo deben garantizar un correcto funcionamiento del flujo de información sin importar el software que utilice cada agente participante en el proceso. La finalidad de esta imposición consiste en fomentar una mejor colaboración, sin realizar una imposición concreta en la utilización de un determinado software. Para ello debe garantizarse la interoperabilidad de la información que se desarrolla en los modelos mediante la entrega de un formato abierto. Ello permite colaborar entre los agentes, sin importar el software nativo de modelado, pudiendo tener todos acceso a la información generada.

El formato estándar abierto en cuanto a formatos BIM es el IFC (*Industry Foundation Classes*), gestionado por buildingSMART, misma entidad que edita las guías uBIM en España. Consta de norma ISO propia, siendo el código de la transposición a la normativa de España UNE-EN ISO 16739:2016.

Con este formato, se garantiza el acceso a la información sea cual sea el software de origen del archivo, fomentando una mayor colaboración no sólo entre plataformas sino también entre agentes participantes. Por ello es importante que se solicite expresamente en el BEP que se redacte para el proyecto.

Además de estos formatos que se han indicado, cabe destacar la importancia de definir un sistema de comunicación que sea colaborativo. Este sistema debiera de respetar la misma filosofía en cuanto al formato abierto, y no depender de una plataforma concreta. Actualmente existen en el mercado soluciones diferentes que permiten una integración directa de la comunicación con los modelos a través de software concreto. Otra opción, no tan recomendable, consiste en la utilización de herramientas digitales de comunicación y hacer apoyo en el uso de capturas de imagen.

buildingSMART, para dar solución a este problema de gestión de las comunicaciones de proyecto, ha generado también otro tipo de formato abierto que respeta la idea de interoperabilidad y que se adapta a los diferentes programas de modelado nativos, se integra en el los programas origen de modelado, favoreciendo una gestión ágil y trazable integrada dentro de los modelos. Es el formato BCF (*BIM Collaboration Format*). De esta manera se fomenta una gestión de incidencias y comunicación a través de los modelos que es sencilla y eficaz.

Definición del alcance y usos

El detalle qué se va a realizar, con qué fin se va a desarrollar el modelo BIM, en definitiva, el definir el alcance y los usos del modelo, es algo intrínseco a los modelos BIM. Resulta un nivel clave en la definición de los hitos y entregas puesto que el enfoque con el que se afronta la elaboración de los modelos varía mucho según sean los usos a los que se destine. El añadir un nuevo uso, o aumentar el alcance del modelo, una vez se ha iniciado su elaboración, puede suponer una gran cantidad de esfuerzo comparado con haberlo contemplado desde un inicio.

Por ello el PEB debe contemplar los usos a los que se destina el modelo, así como una evolución de los mismos según sea la etapa del proyecto. Para ello se recomienda seguir la guía de elaboración de PEB editada por la comisión esBIM, actualmente disponible en la página de la Comisión Interministerial BIM del Gobierno de España.

De los usos previstos en dicha guía, este documento se centra en aquellos que tienen estrecha vinculación con la gestión de RCD:

- Visualización 3D – Revisión del diseño
- Coordinación 3D – Detección de Interferencias
- Simulación constructiva
- Mediciones – Estimación de cantidades
- Logística y acopios – Replanteo en obra
- Medioambiente – Información del ciclo de vida
- Fabricación digital

Transferencia de información y requisitos

La propuesta del formato de intercambio de formato de archivos influye en la información de la que dispone cada agente interviniente en el proyecto. Ya se ha definido en el apartado “Formato de trabajo” la apuesta por los formatos abiertos, el denominado “*Open BIM*”, mediante el uso de formatos IFC para el intercambio de información entre agentes.

Se debe prestar especial atención a la fiabilidad de la información que contiene este formato de archivo. Siendo cierto que el formato original es aquel que contiene la información con más fiabilidad, la mejora en el análisis y transformación a formatos IFC en los últimos años ha sido grande, siendo necesario reseñar la necesidad de trabajar de manera adecuada la clasificación de los elementos en las plataformas nativas para evitar errores en la información traspasada mediante este formato.

La propuesta de parámetros y flujo de trabajo que se realiza en el presente documento está preparada para poder trabajarse desde el propio software nativo, o para ser exportada mediante archivos IFC. Esto se debe a que en la actualidad, ante la falta de software específico para realizar el estudio y gestión de RCD, se opta por adaptar una serie de tablas de información a partir de los parámetros que se detallan más adelante. No obstante, se deja la puerta abierta al intercambio IFC, al crear conjuntos de exportación de este formato de archivo que contengan la información de los parámetros de gestión de RCD.

En caso de utilizar directamente el formato IFC para realizar la gestión de RCD en otra plataforma, el técnico responsable a cargo de esta labor debe verificar que los elementos constructivos del modelo han sido exportados correctamente al archivo IFC desde el modelo en formato nativo, y que la lectura de dicha información en el software destino es adecuada.

En caso de realizar algún elemento del modelo con una herramienta diferente a las genéricas o por defecto de las que disponen los programas de modelado, conviene que se revise la exportación a IFC para que los elementos que se hayan generado de manera diferente estén correctamente clasificados. De lo contrario pueden surgir errores en el momento de realizar la lectura del archivo IFC generado.

Resulta recomendable disponer de vistas de trabajo de coordinación del modelo que se exporte a formato IFC. Esta es una buena práctica a realizar en el momento previo a la exportación, generando filtros visuales que faciliten el repaso de la correcta clasificación de los elementos del modelo de manera previa a generar el archivo IFC.

B1.1.2. Modelado

Previo al comienzo de la labor de modelado, conviene ajustar los criterios con los que se levanta el mismo, ya que deben adaptarse a los usos que se prevén en el PEB. De este análisis deben resultar unos objetivos, estrategias y requisitos que fundamenten los criterios de modelado que den respuesta a las necesidades del proyecto.

La precisión de los modelos resulta un paso clave para gestionar los RCD, ya que deben cumplir con los condicionantes previos que se exigen los modelos orientados a la construcción: deben ser técnicamente correctos (desde un punto de vista constructivo) y deben estar bien ejecutados (desde un punto de vista BIM, bien coordinados entre disciplinas, sin colisiones ni errores de modelado). Por ello los elementos constructivos deben ser correctamente modelados, identificados y ser consistentes.

A continuación se dan unas pautas generales que afectan al modelado orientado a la gestión de RCD. No obstante, cabe destacar que al apoyarse en algunas técnicas de modelado que se orientan a otros usos importantes, como resulta la gestión de mediciones, o el análisis del impacto medioambiental, existen documentos de las guías uBIM que resultan elementos de apoyo clave a esta guía para la definición de estos criterios.

Estrategias de modelado

A partir de los objetivos y criterios que surgen de las necesidades del BEP, se establecen las estrategias de modelado. Consisten en un conjunto de reglas orientadas a obtener un resultado óptimo en cada circunstancia.

En el caso del modelado orientado a la gestión de RCD, tal y como se detalla más adelante, se puede orientar según el uso establecido en el PEB. De los diferentes usos existentes, los que tienen mayor relación con la gestión de residuos son:

- Visualización 3D – Revisión del diseño
- Coordinación 3D – Detección de Interferencias
- Simulación constructiva
- Mediciones – Estimación de cantidades
- Logística y acopios – Replanteo en obra
- Medioambiente – Información del ciclo de vida
- Fabricación digital

Según cuantos usos de esta lista se quieran implementar, exigirá un mayor nivel de modelado, y por tanto una estrategia más completa. Pueden darse diferentes escenarios, donde se busquen únicamente un uso determinado del modelo, que se combinen dos de ellos, o que interactúen varias de esta lista. Estos condicionantes de partida determinarán qué estrategia debe utilizarse.

Estrategias orientadas a la coordinación 3D – Detección de Interferencias

Un primer paso consiste en realizar distinción de modelos por disciplinas: modelo de arquitectura, modelo de instalaciones y modelo de estructura. Esto resulta un paso que facilita el “colisionar” los diferentes modelos es un software específico de detección de interferencias. Aunque no es indispensable, ya que se pueden generar filtros diferentes en las plataformas de trabajo, es una buena práctica que se recomienda seguir.

Además, es necesario confirmar que los diferentes elementos del modelo están bien clasificados. Conviene utilizar un sistema de clasificación que facilite la creación de filtros de manera lógica y coherente. En el caso de España, existe la clasificación de elementos de construcción GUBIMCLASS, desarrollada por GuBIMCat.

Siguiendo este estándar, se clasifican los diferentes elementos del modelo permitiendo generar filtros ágiles y estandarizados, para posteriormente generar los estudios de colisiones que aseguren una buena ejecución de los modelos y por tanto una buena definición constructiva de los proyectos.

Estrategias orientadas a la simulación constructiva

Consiste en la división de los elementos de manera que pueda visualizarse de manera correcta una simulación de su ejecución. Ello implica que los elementos deberán ser modelados siguiendo como criterio base “se modela como se construye”. Esto quiere decir que habrá que evitar formas de modelar “más ágiles” pero que son irreales, como levantar toda la fachada en un solo muro, los suelos deberán ser modelados por estancias, no en viviendas completas, o las terrazas deberán ser independientes también, entre otros posibles ejemplos.



Se deberá acordar desde el momento inicial, y por tanto tendrá que estar contemplado en el PEB, una división de elementos constructivos, junto con un sistema de codificación, que permita exportar los modelos desde el software nativo a programas específicos de planificación y que vinculen los elementos constructivos con una planificación dada, permitiendo de esta manera realizar la simulación.

Para una mayor definición de la estrategia de modelado y de los requisitos a cumplir, conviene realizar la lectura de la guía uBIM documento 13 sobre construcción, donde se facilitan más pautas a considerar en la estrategia de modelado orientada a la simulación constructiva.

Estrategias orientadas al estudio de mediciones

De manera similar a lo que sucede con la estrategia orientada a la simulación constructiva y planificación, para realizar una extracción de mediciones adecuada los elementos del modelo deben previamente haber sido modelados de manera fidedigna a la realidad. Cuanta mayor sea la subdivisión de los elementos, mayor trazabilidad y líneas de medición se podrán realizar a partir del modelo BIM.

Igualmente, los elementos deben ser consistentes, y deben ser modelados con las herramientas adecuadas que faciliten la extracción de su información.

Todos los elementos deben ser identificables de manera individual, de manera que se facilite su conversión a partidas de presupuesto en el proceso de extracción de mediciones. El dónde introducir esta información varía según sea el software utilizado, teniendo como punto común el que deben ser parámetros de información estructural del elemento.

Se recomienda la lectura del documento 07 de las guías uBIM donde se desarrolla de manera más extensa criterios a considerar para la extracción de mediciones.

Estrategias orientadas a la gestión de medioambiente

Se distingue esta otra estrategia debido a que necesita introducir información ligeramente diferente a la que existe para la extracción de mediciones, pero realmente su funcionamiento es similar al de la extracción de mediciones, ya que los indicadores principales de este método (el impacto de la huella de carbono) suelen obtenerse mediante ratios según sean las mediciones de los elementos constructivos.

Por tanto, a pesar de diferenciar para remarcar la importancia de estos elementos, la estrategia de modelado es bastante coherente y similar que la estrategia de mediciones.

Conclusiones

Según sea el uso al que se destine el modelo, deberán de combinarse más o menos estrategias. Tal y como se han descrito, las 4 estrategias son compatibles entre sí, requiriendo realmente de un mayor trabajo en cuanto a la hora de codificar y dotar de información al modelo, pero sin diferir en cuanto a la manera de enfocar las claves del modelo: Modelar como se construye, para construir como está modelado.

Consistencia

Se define como la estabilidad o solidez de los diferentes elementos del modelo. Resulta clave para poder extraer la información con fiabilidad de los elementos. Según el uso al que se destine el modelo, así como la estrategia de modelado (que va de la mano del uso al que se destine), esta definición de consistencia afectará a diferentes conceptos.

Como tal, la consistencia de los elementos del modelo se centra tanto en su aspecto geométrico, como en la información de la que está dotado. Un elemento (un muro por ejemplo) puede ser consistente desde el punto de vista de extracción de mediciones (está correctamente modelado, está subdividido en un elemento razonable y se encuentra codificado para extraer la información para medición) pero ser inestable desde un punto de vista de simulación constructiva (no se le ha dotado al modelo de información referente a la planificación ni programación de obra).

Por ello la consistencia dependerá de qué se valore, según los criterios y estrategias definidos para dar respuesta a los usos esperados del modelo.

Resulta importante por tanto definir el grado de fiabilidad de los diferentes elementos del modelo según los diferentes tipos de criterios. Para realizar esta labor, que debe ser contemplada en el Plan de Ejecución BIM, se debe definir mediante una tabla el Nivel Necesario de Información que deben contener los elementos del modelo, dividido según la fase de proyecto, resultando un nivel de consistencia determinado según sean:

- La fase de proyecto
- El objetivo y usos del modelo
- La estrategia de modelado
- El elemento constructivo valorado

Nivel de Información Necesario

El Nivel de Información Necesario (NIN, o LOIN por sus siglas en inglés) es una evolución lógica del concepto de LOD que se recoge en la norma ISO 19.650 y que se establece en la UNE—EN—17.412:2021. Consiste en una medida de seguridad que indica cuánto de definida está la información en el momento del intercambio. Para ello, se utilizan 3 conceptos diferentes: Información geométrica, información alfanumérica y documentación.

El NIN indica un requisito de información geométrica, alfanumérica y/o de documentación para alcanzar un objetivo concreto, establecido mediante un hito. Por tanto es parte de la información que debe facilitar el PEB de manera previa al comienzo del proyecto.

Para definir el NIN y cómo se entrega la información con este nivel exigido, se deben considerar los siguientes requisitos:

- El objetivo al que se destina esa información (o uso)
- Establecer los hitos de entregas temporales
- Identificar los responsables de realizar dichas entregas
- Detallar mediante matriz de objetos el NIN especificado de proyecto

La tabla 1 recoge la definición mínima que deben contener los 3 conceptos que engloban el NIN.

Tabla 1. Definición mínima de los conceptos del NIN		
Información geométrica	Información alfanumérica	Documentación
Detalle	Identificación del objeto	Informes
Dimensiones	Contenido de la información	Manuales
Ubicación		Especificaciones
Apariencia		Fotografías
Comportamiento paramétrico		Esquemas, etc

Así, definiendo y controlando estas variables de los 3 componentes especificados, se detalla el Nivel de Información Necesario que se requiere para los proyectos. Éste debe estar alineado con los usos previstos para el modelo, y condicionarán, por tanto, las estrategias con las que se encaren los modelos desde un momento inicial, teniendo claras las condiciones antes de comenzar a modelar.

Relación LOI – LOD

Englobando conceptos similares, el término de Nivel de Información Necesario es más global que el Nivel de Desarrollo, o LOD. LOD hace más referencia al trabajo basado en el modelo, mientras que el NIN busca incorporar información de relevancia global del proyecto. No obstante, a día de hoy sigue siendo un término más común LOD, con una clasificación de niveles exhaustiva que ayuda a interpretar y definir mejor los elementos del modelo.

El concepto de LOD se recoge en los documentos desarrollados por BIM Forum, denominados "*Level of Development (LOD) Specification*". Es una referencia clave en los modelos para definir el grado de confianza en los diferentes elementos del modelo, según las diferentes fases del proyecto. Su finalidad es establecer un marco que permita normalizar el uso de LOD, siendo una herramienta útil para el sector.



Se definen los niveles que recoge la tabla 2:

Tabla 2. NIVELES DE CLASIFICACIÓN LOD	
Clasificación	Nivel de desarrollo de la representación de cada elemento
LOD 100	El elemento puede representarse gráficamente mediante un símbolo u otro tipo de representación genérica, que no alcance los requisitos de LOD 200. Otra información relacionada con el modelo, como el coste unitario, se puede derivar de otros elementos.
LOD 200	El elemento se representa gráficamente como un objeto genérico, con dimensiones, cantidades, localización u orientación aproximada. También puede contener información no gráfica relacionada con el mismo.
LOD 300	El elemento se representa gráficamente bien definido, con dimensiones, tamaño, localización u orientación concreta. También puede contener información no gráfica relacionada con el mismo.
LOD 350	El elemento se representa gráficamente bien definido, con dimensiones, tamaño, localización u orientación concreta, y como interfiere con otros sistemas constructivos. También puede contener información no gráfica relacionada con el mismo.
LOD 400	El elemento se representa gráficamente bien definido, con dimensiones, tamaño, localización u orientación concreta, y con detalle información sobre su fabricación, ensamblaje e información. También puede contener información no gráfica relacionada con el mismo.
LOD 500	El elemento es verificado en cuanto su tamaño, localización, dimensiones y orientación. También puede contener información no gráfica relacionada con el mismo.

Por tanto, uniendo esta clasificación con el contenido que define la UNE EN 17.412:2021 sobre el NIN es posible realizar una exigencia a los elementos del modelo. Estos requisitos deberán ser contemplados desde un inicio en el desarrollo del PEB.

Relación LOD – fases de proyecto

Según los usos y objetivos a los que se destine el modelo, deberá detallarse un NIN a los elementos del modelo. Una subdivisión más que se puede añadir, con la finalidad de agilizar la labor de modelado según sea el uso previsto, consiste en relacionar este nivel de exigencia según sea la fase de proyecto. Para ello se puede apoyar en los estudios existentes donde se relacionan las diferentes fases del desarrollo de proyecto con la clasificación LOD.

Para comprender mejor este concepto del nivel de clasificación de LOD, se asemeja su comportamiento al marco normativo español, transponiendo esta clasificación y comparando los valores con las fases de redacción del proyecto de edificación en España (estudios previos – anteproyecto – proyecto básico – Proyecto de Ejecución – Documentación Fin de Obra). Además, se vinculan también con los beneficios que pueden extraerse de las diferentes dimensiones BIM que se han introducido en el apartado anterior. Esta información se refleja en la tabla 3.

Tabla 3. FASES DEL PROYECTO – LOD – DIMENSIONES BIM.			
Etapas	LOD	Dimensión	Justificación
Estudios previos	100	2D/3D	Fase en la que se define de modo elemental y esquemático. Se corresponde con LOD100, elemento definido de forma genérica, volumen/área. Dimensiones 2D/3D para visualizar cómo será el proyecto
Anteproyecto	200	2D/3D/5D	Características generales del proyecto: formales, constructivas y económicas. LOD200: Elemento con dimensiones, mediciones y localización aproximada. Grado de definición de proyecto básico. Dimensiones 2D/3D y de forma esquemática 5D*.

Proyecto Básico	300 350	2D/3D/4D/5D/6D	A falta del desarrollo completo de algunos sistemas constructivos (estructura/instalaciones), se definen las exigencias que debe cumplir el edificio (proyecto básico). LOD300/350: definición correcta. Dimensiones 2D/3D. Aplicar 4D*/5D*/6D* en esta fase, aporta valores muy aproximados a los finales.
Proyecto Ejecución	400	2D/3D/4D/5D/6D	El proyecto se define al nivel requerido para la ejecución. LOD400: elemento completamente definido. Pueden aplicarse con fiabilidad 2D/3D/4D/5D/6D.
Documentación final de obra	500**	2D/3D/4D/5D/6D/7D	Al finalizar la obra, se genera la documentación fin de obra. Si se mantiene actualizado el modelo BIM, dicha documentación final es fiable y completa. LOD500: Dimensión 7D, Gestión Integral del Edificio.
<p>(*) Implica que la dimensión no se ajusta por completo a la fase de desarrollo del proyecto. (**) Futuros desarrollos de las nD son susceptibles de incorporarse a esta categoría LOD.</p>			

Cabe recordar que este nivel LOD, o mejor el NIN exigido, corresponde a los diferentes elementos del modelo, no es un parámetro global que se afecte por igual a todos los elementos. Exponiendo esta afirmación con un ejemplo, en un proyecto cuyo uso principal sea la visualización, la obtención de planos 2D y la extracción de mediciones, puede exigirse un NIN mayor a los elementos muros (con una serie de información extra que permita estilos de grafismos según sean sus condiciones de incendios, acústica, tipología de albañilería y codificación de presupuesto) que a las puertas interiores de vivienda (dotadas de codificación de presupuesto únicamente).

B1.2. VENTAJAS DEL USO BIM PARA GESTIÓN RCD

La aplicación de BIM, no sólo en cuanto a disposición y uso de software, sino con la metodología colaborativa que permite extraer el máximo beneficio, conlleva una serie de mejoras y ventajas en el sector de la construcción.

El centralizar la información del proyecto en un repositorio único, como es el modelo BIM, al que tiene acceso todo participante en el proceso de desarrollo y ejecución del proyecto, genera un impacto positivo, más allá de las mejoras reales que supone el aumento de la visualización y entendimiento del proyecto, una mayor coordinación entre agentes, la simplificación de actividades como la medición de elementos constructivos o el análisis del ciclo de vida del proyecto.

Más allá de estas ventajas generales inherentes al uso de BIM en proyectos de construcción, existen otras específicas que se derivan de orientar la aplicación de los modelos a la gestión de RCD. Como ventajas de la aplicación de BIM a la gestión de RCD se obtiene:

- una medición con alta exactitud de los residuos generados,
- se facilita la gestión del proceso de demolición
- se supervisa el comportamiento a lo largo del ciclo de vida completo del proyecto
- el desarrollo de un plan de gestión de residuos más completo

Estas ventajas favorecen una mayor y mejor reducción, reutilización, reciclaje, y por tanto gestión de los RCD. Los procesos que fomentan la De-Construcción, la reutilización de materiales, y ya en última instancia la demolición del proyecto, se ve favorecida gracias a la aplicación de usos como:

- Visualización 3D – Revisión del diseño
- Coordinación 3D – Detección interferencias
- Simulación constructiva
- Mediciones – Estimación de cantidades
- Logística y acopios – Replanteo en obra
- Medioambiente – Información del ciclo de vida
- Fabricación digital



B1.2.1. Visualización 3D – Revisión del diseño

Los modelos BIM que se levantan con una estrategia de modelado que satisface los requisitos de este uso favorecen una revisión del diseño y de las soluciones constructivas proyectadas. Este hecho permite el estudio de alternativas y la optimización de las soluciones dadas, lo que unido al uso del punto B.1.2.2, elimina errores u omisiones de proyecto.

La principal aportación de este uso consiste en la eliminación de posibles futuros cambios en obra, con los re-trabajos que ello conlleva durante la fase de ejecución, minimizando así la generación de RCD.

B1.2.2. Coordinación 3D – Detección interferencias

Se crean diferentes modelos de un mismo proyecto, según disciplinas: modelo de arquitectura, modelo de estructura y modelo de instalaciones. Se generan de manera coordinada (compartiendo sistema de coordenadas), definiendo los elementos constructivos que lo componen con la finalidad de que chequear las posibles interferencias que existen en proyecto.

Facilita anticiparse a errores que de otra manera salen en el momento de ejecutar la obra y generan problemas de tiempo, espacio y dinero, así como una generación extra de RCD. De esta forma se logra minimizar la generación de RCD en obra.

B1.2.3. Simulación constructiva

Permite conocer y comprender las necesidades de ejecución del proyecto. Integra la planificación de los recursos (trabajadores, equipos de obra y materiales) para mejorar la planificación, medición y soluciones de poco espacio de trabajo.

De manera similar al punto B.1.2.2, logra anticipar posibles conflictos en obra, en este caso derivados de movimientos de maquinaria y problemas de espacio, favoreciendo la gestión de RCD.

B1.2.4. Mediciones – Estimación de cantidades

Uso de los modelos BIM para realizar mediciones de materiales más precisas y favorecer una mejor gestión del proceso de contrataciones del proyecto. También permite el estudio de alternativas constructivas en caso de considerarlo necesarias si se observa que la generación de RCD de la solución constructiva inicial es excesiva.

También tiene un uso específico para proyectos de rehabilitación, calculando y optimizando los viajes necesarios para eliminar, clasificar o reciclar los residuos. Este número de viajes se optimiza en gran medida al tener un resultado de cálculo de RCD afinado por una medición fiable de proyecto.

B1.2.5. Logística y acopios – Replanteo en obra

El modelo BIM se genera con la finalidad de estudiar la ubicación más idónea de los acopios, logrando minimizar el número de movimientos, y con ello, reducir el número de mermas y roturas de materiales, con la consiguiente disminución de RCD generados. Está estrechamente ligado al uso descrito en el punto B.1.2.3.

B1.2.6. Medioambiente – Información del ciclo de vida

Uso que se aprovecha de la ventaja que suponen los modelos BIM como repositorio de datos e información. Principalmente se desarrollan planos, pero el modelo contiene mucha información no geométrica que puede ser utilizada para analizar el impacto de los elementos que componen el proyecto a lo largo del ciclo de vida, estudiando opciones cuyo impacto en el medioambiente (generación de residuos directa por ejecución de proyecto, huella de carbono de los elementos...) sea el mínimo posible, satisfaciendo las necesidades de proyecto.

Además, el modelo BIM puede actualizarse durante la obra, incorporando información sobre las cantidades realmente generadas en obra, dotando de mayor capacidad en la estimación de cantidades de RCD para el estudio de nuevos proyectos futuros.

B1.2.7. Fabricación digital

La finalidad de este uso es destinar el modelo BIM para definir el proyecto de manera precisa y exportar la información del mismo con la finalidad de prefabricarlo, bien sea con fabricación aditiva (3D), máquinas fresadoras o corte láser mediante control CNC.

B1.3. REQUISITOS PARA USOS RECOGIDOS EN EL BEP

Por su utilidad, el uso de modelos BIM para el estudio y gestión de RCD presenta una serie de ventajas, siempre y cuando el modelo se realice de manera estructurada y posea unos niveles mínimos de calidad. Al tratarse de un campo de aplicación tan grande, se pueden acometer desde diferentes enfoques, incluso con un alcance mayor o menor según sean las necesidades de proyecto respecto a la exigencia de este campo.

Como se ha indicado en repetidas ocasiones, se necesita del desarrollo del PEB donde se recojan los requisitos del modelo en base al objetivo y usos previstos del modelo. Este documento debe estar alineado con los pliegos de contratación BIM o con las condiciones que exponga el cliente al comienzo de la relación profesional.

A partir de la información recogida en el PEB se determina el objetivo de los modelos BIM, su uso destinado, y los requisitos exigidos orientados a lograr cumplir con la finalidad prevista. Estos requisitos deben definir claramente qué se debe realizar en los modelos y su NIN, para generar confianza de que los resultados obtenidos del modelo sean coherentes y correctos.

Como es lógico, estos requisitos variarán según sean los usos previstos del modelo, ya que no es lo mismo especificar un mínimo de NIN para modelos orientados a mediciones que para simulación constructiva. Se debe exigir una calidad mínima para poder trabajar con los modelos BIM.

B1.3.1. Objetivo BIM

Los objetivos definen la estrategia de desarrollo, control y entrega de la documentación del proyecto relacionada con BIM, estableciendo unos criterios de colaboración y control de calidad entre todos los agentes intervinientes en el proyecto. Están estrechamente ligados con los usos BIM a los que se destina el modelo.

El propósito de los objetivos BIM es generar procesos eficientes adecuados a ellos con la finalidad de obtener el resultado esperado del modelo.

Los objetivos propuestos deben ser medibles y controlables, favoreciendo su seguimiento cara al cumplimiento de los mismos al final del proyecto.

B1.3.2. Usos BIM orientados a la gestión RCD

Definen los modos y criterios de modelado con los que se afrontan los proyectos durante su ciclo de vida para conseguir los objetivos que se hayan definido en el PEB. La *"Guía transversal para la elaboración del Plan de Ejecución BIM"*, documento elaborado por la comisión esBIM de España, define hasta 26 usos que pueden extraerse de los modelos BIM, siempre y cuando se satisfagan un mínimo de requisitos y calidad de los mismos.

Tal y como se ha analizado en el presente documento, de los 26 usos, 7 de ellos tienen una relación más estrecha con el estudio y gestión de RCD:

- Visualización 3D – Revisión del diseño
- Coordinación 3D – Detección de interferencias
- Simulación constructiva
- Mediciones – Estimación de cantidades
- Logística y acopios – Replanteo en obra
- Medioambiente – Información del ciclo de vida
- Fabricación digital

Los requisitos que se exijan al modelo BIM deberán estar orientados a estos usos.

B1.3.3. Requisitos

Para determinar los requisitos BIM del proyecto, estos deben alinearse con los objetivos y usos que se solicitan. Se necesita caracterizar una serie de elementos que permitan establecer estos requisitos mínimos a satisfacer con los modelos BIM. Estos contenidos mínimos son reflejo de las exigencias contempladas en informes de entidades públicas, como la Comisión BIM de España, o entidades privadas del sector que han fomentado el desarrollo de guías para la gestión de modelos BIM. La tabla 4 recoge esta información mínima.



Tabla 4. CRITERIOS PARA LA DETERMINACIÓN DE REQUISITOS

NIVEL DE INFORMACIÓN NECESARIO
<p>Define el alcance que debe poseer la información que se va a intercambiar con el modelo. Hace referencia no únicamente al contenido geométrico, sino que implica también a la información no geométrica y documentación que se vincule al elemento del modelo. Debe facilitarse información referente a:</p> <ul style="list-style-type: none">- Detalle gráfico- Dimensiones mínimas geométricas- Ubicación del elemento- Apariencia- Comportamiento paramétrico- Identificación del objeto- Contenido de la información- Informes- Manuales- Especificaciones- Fotografías
ENTREGABLES
<p>Definición clara de qué documentos e información se exige, definiendo el contenido mínimo, fechas de entrega y el agente responsable, facilitando la labor de trabajo al siguiente agente que interviene en el proyecto y que parte de la información desarrollada por alguien.</p> <p>Debe establecerse un calendario de reuniones con los agentes que intervienen en proyecto, fomentando un intercambio periódico y definiendo el entregable en cuanto a contenido, formato, coordinación y agentes involucrados.</p> <p>En el caso concreto de los modelos, debe establecerse la exigencia concreta de la subdivisión de modelos por disciplina, estructura cómo se quiere la información dentro de los modelos, y establecer</p>
INFRAESTRUCTURA DE LA INFORMACIÓN
<p>Es un elemento clave que facilita una gestión correcta de la información. Define una estructura tanto externa a los modelos, como de organización interna del modelo. Establece también procedimientos para control de la calidad. Hace referencia a la estructura en sí del modelo (sistema de coordenadas, unidades, criterios de modelado, sistemas de clasificación, nomenclatura, organización de vistas...) y de la plataforma de colaboración, el Entorno de Datos Común (EDC, o CDE por sus siglas en inglés). En el caso del EDC, establece cómo funciona el sistema centralizado de información, cómo se ensamblan sus diferentes componentes, quién tiene acceso a la información, nomenclatura de archivos...</p>
INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN
<p>Fomento de generación de archivos en formato abierto, en el caso concreto de los modelos BIM en formato IFC, que fomente un trabajo colaborativo, facilitando el intercambio de información independientemente de las plataformas de trabajo seleccionada. Más allá de las ventajas en cuanto a la no limitación de un software concreto, es una buena costumbre el solicitar archivos en formato abierto ya que garantiza una compatibilidad a lo largo del ciclo de vida del proyecto, no sólo durante el desarrollo del proyecto, sino cara al uso y explotación del activo.</p>
REQUISITOS DE COLABORACIÓN
<p>Definición de los procedimientos de colaboración, haciendo referencia a aspectos claves como la definición de la comunicación, clasificación de los elementos de modelo, establecimiento de una estructura de trabajo... En definitiva, establecer los criterios de comunicación que permitan a los diferentes agentes participantes en los proyectos saber cómo deben actuar con los modelos y qué deben desarrollar.</p>

B1.3.4. Definición de parámetros según usos

En el presente apartado, para finalizar las recomendaciones sobre criterios de modelado orientados a la gestión de RCD, se facilitan una serie de parámetros a tener en cuenta de cara al levantamiento de modelos BIM, sean cuales sean las plataformas de modelado nativas.

Estos parámetros, asociados a los usos BIM que satisfacen los objetivos contemplados en el PEB, son recomendaciones para obtener modelos BIM robustos desde la perspectiva de la gestión de residuos. Como se ha mencionado en apartados anteriores, conviene tener en cuenta el resto de documentos de las guías uBIM que fomentan un uso razonado de los modelos orientados a diferentes usos del mismo.

De los usos BIM que se han identificado relacionados con la gestión de RCD se desarrollan parámetros para algunos de ellos. Existen algunos que no tienen necesidad como tal de añadir nuevos parámetros, pero que deben considerarse desde la perspectiva de criterios de cómo deben modelarse para que sirvan de manera correcta.

Con todo, lo que pretende esta guía es facilitar una serie de criterios de modelado que permitan extraer el máximo beneficio del uso de modelos BIM orientado a la gestión de RCD. Gran parte de estos beneficios se relaciona de manera directa con la gestión de mediciones mediante modelos BIM, pero no se limitan únicamente a ello.

Algo común a todos los criterios facilitados, y que debe tenerse en cuenta, es la importancia de que el modelo debe ejecutarse tal y como se construye. Para que realmente sirva de ayuda, no deben levantarse castillos en el aire, debe modelarse los elementos constructivos de manera fidedigna a la realidad, y por supuesto el seguir un proceso de modelado similar al procedimiento constructivo es un criterio que siempre va a favor de elaborar modelos BIM reales y que sirvan de ayuda, con aporte real al proyecto.

Criterios orientados a la visualización 3D

Se recomienda seguir los comentarios recogidos en las guías uBIM 03 *Diseño Arquitectónico*, 04 *Diseño de Instalaciones* y 05 *Diseño Estructural*, donde se facilitan pautas de modelado general de estos elementos constructivos que fomentan buenas técnicas de modelado.

Lo más importante, desde el punto de vista de los modelos orientados a la revisión del diseño, es tener claro que debe modelarse como se construye. De esta manera, conforme se levanta el modelo, se detectan ciertas situaciones que podrán generar problemas posteriormente en obra. No es el único filtro, pero desde luego es una gran ayuda de cara a optimizar soluciones constructivas de proyecto.

Por ello se recomienda que el procedimiento a la hora de levantar los modelos siga el proceso constructivo, ayudando a entender mejor el proyecto y anticiparse a posibles errores.

Otro aspecto a considerar, según sea la fase y necesidades del proyecto, es la precisión geométrica. De cara al estudio definitivo de la gestión de RCD destacar que debe tener una precisión geométrica exacta, puesto que lo contrario puede derivar en toma de decisiones erróneas o poco optimizadas, que provoque una mayor generación de residuos.

Criterios orientados a la coordinación 3D

Se recomienda la lectura y seguimiento de los criterios recogidos en la guía uBIM 06 *Aseguramiento de la Calidad*, donde se contemplan recomendaciones orientadas a la coordinación entre los diferentes modelos generados de proyecto.

En el caso de los modelos orientados a la coordinación 3D y detección de interferencias, el primer criterio a tener en cuenta consiste en la subdivisión de modelos. Es un aspecto esencial y que debe contemplarse desde la definición y exigencias del PEB.



La estrategia de modelar modelos por disciplinas (arquitectura, estructura e instalaciones) facilita la comparación y choque de los modelos con la finalidad de identificar interferencias y posibles problemas de obra.

Cabe destacar que esta subdivisión de modelos viene definida y recogida en los requisitos contemplados en el PEB. Si bien lo estándar puede resultar realizar modelos en las 3 disciplinas que se han comentado, puede darse el caso de que, por tipología o tamaño del proyecto, sea necesario optar por una mayor subdivisión de modelos.

La subdivisión de modelos no es el único aspecto a considerar. También es necesario realizar una clasificación de los elementos del modelo que permita su identificación clara. Para ello, se recomienda la clasificación propuesta por GUBIMCAT, las Gubimclass. Esta clasificación permite identificar los diferentes elementos constructivos.

Estas dos técnicas, la subdivisión de modelos por disciplinas y la clasificación de los elementos de modelo por tipología constructiva, permiten un trabajo sencillo y eficaz a la hora de realizar la detección de interferencias. Este estudio consigue avanzar en la detección de posibles re-trabajos y errores que, en caso de llegar a la obra, generan un incremento de la cantidad de RCD generados.

Por tanto, se trata de una labor preventiva eficaz y que fomenta una disminución de los RCD generados en obra.

Crterios orientados a la simulación constructiva

Se recomienda la lectura y seguimiento de las pautas facilitadas en el documento *13 Construcción de las guías uBIM*. En este documento se aportan criterios y recomendaciones orientados a la elaboración de modelos BIM para la ejecución del proyecto, durante la fase de obra. En la misma guía se dan pautas acerca de cómo realizar la programación de obra con programas BIM, por lo que resulta de interés.

Parte de los criterios expuestos hasta el momento resultan igualmente de interés para obtener un modelo orientado a la simulación constructiva. Tanto el criterio de “se modela como se construye, para construir como se modela”, como la necesidad de una buena precisión geométrica, son elementos útiles de cara a la elaboración de modelos orientados a la gestión de RCD.

Por otro lado, es igualmente necesaria la identificación de los elementos del modelo según sea su clasificación de elementos constructivos. En consecuencia, el clasificar los modelos con Gubimclass identifica a todos los elementos de los modelos.

A estos criterios, que se habían introducido anteriormente, se añade otro, importante, desde el punto de vista del análisis de cómo proceder a la ejecución de los proyectos, y es que los modelos deben ejecutarse por capas independientes y por niveles. Este criterio se entiende mejor con un ejemplo.

A la hora de modelar una fachada de un proyecto de 5 alturas, se puede optar por levantar un muro de 15 metros de altura que cubra toda la fachada de un tirón. Además a este muro se le pueden definir capas intermedias, los diferentes elementos constructivos que componen el mismo. Sin embargo, desde el punto de vista de modelos orientados a la simulación constructiva, incluso para mediciones, resulta una técnica errónea, puesto que si se desea simular el proceso de ejecución del proyecto, en la simulación esa fachada se levantará entera del tirón, 15 metros, con todos los elementos que la componen, algo que, lógicamente, no ocurre en la realidad. Para una mejora simulación, más real, conviene pormenorizar en el estudio del modelo, y levantar ese muro en 5 alturas diferentes, y diferenciando las capas que componen el muro, de manera que, ante el reto de simular constructivamente una fachada ventilada, se pueda diferenciar el momento de colocar la hoja portante, trabajar el acabado interior, y ejecutar el acabado exterior, y en cada planta de proyecto.

De esta manera, siguiendo los criterios, se permite el estudio de la secuencia de construcción, y se pueden optimizar soluciones constructivas, incluso, como se verá más adelante, estudiar la implantación de obra, con la finalidad de conseguir una reducción de la cantidad de RCD generados.

Criterios orientados a la obtención de mediciones

Para mayor profundidad en cuanto criterios de modelado para la obtención de mediciones, se recomienda la lectura de la *guía uBIM 07 Mediciones*. En dicho documento figuran cuestiones de modelado en las que se facilitan pautas para lograr modelos BIM consistentes y fiables que cuantifiquen los proyectos de manera ágil y fiable.

A los criterios que se han explicado hasta el momento, de cara a los modelos orientados a la gestión de mediciones se recomienda otro nuevo, que es la clasificación del modelo con la finalidad de dar a cada elemento un código único que lo relacione con una partida concreta de una base de datos de presupuesto. De esta manera, se logra generar unas mediciones consistentes de manera semi-automatizada (siempre existirá un componente manual necesario para la extracción de las mediciones)

Por su puesto, para que el resultado que arrojen las mediciones que se obtengan sea fiable, se necesita seguir de los criterios anteriormente expuestos: el modelo debe elaborarse siendo fiel al proceso constructivo, la precisión geométrica resulta clave para evitar errores en la cuantificación de los elementos constructivos, y el modelado por capas y niveles favorece una mayor trazabilidad de los elementos del presupuesto para posteriores revisiones y actualizaciones del proyecto.

Desde el punto de vista de la gestión de RCD, este proceso de obtención de mediciones resulta un paso clave, puesto que gracias a ellas, es viable, mediante la aplicación de ratios, se favorece la obtención de las cantidades de RCD generados en el proyecto, tanto en Kg como en l.

Para automatizar este cálculo, y poder extraer la información de los modelos, es necesaria la definición de nuevos parámetros que contemplen estos ratios. Esta información quedará vinculada con el elemento constructivo, que puede generar y genera diferentes tipos de residuos. Por ello se define una subdivisión de hasta 7 tipos de residuos diferentes que puede generar un mismo elemento constructivo. En caso de ser necesario, podría ampliarse tanto como se considere.

Surgen, por tanto, parámetros que informan sobre el código LER del tipo de residuos generado, el ratio de Kg generado por partida, y el ratio de l generado por partida, resultando en total:

Código LER 1	Ratio Kg por partida	Ratio l por partida
Código LER 2	Ratio Kg por partida	Ratio l por partida
Código LER 3	Ratio Kg por partida	Ratio l por partida
Código LER 4	Ratio Kg por partida	Ratio l por partida
Código LER 5	Ratio Kg por partida	Ratio l por partida
Código LER 6	Ratio Kg por partida	Ratio l por partida
Código LER 7	Ratio Kg por partida	Ratio l por partida

Estos parámetros deben relacionarse con la tipología de parámetros IFC, de manera que se genere un nuevo conjunto de *Property Sets* que agrupe estas características en los archivos que se exporten, facilitando el estudio y análisis de las cantidades de RCD generados.

Según sea la plataforma nativa de modelado, al tener todos los elementos clasificados, permite realizar este estudio de las cantidades de residuos desde los propios programas. No obstante, dejando los parámetros preparados para la exportación IFC se garantiza una futura colaboración con diferentes programas específicos de gestión de RCD.

Criterios orientados a la logística y acopios

Las ventajas del uso de los modelos BIM orientados al estudio de la implantación en obra de los proyectos no necesitan de nuevos criterios, puesto que una combinación de los criterios facilitados para la visualización 3D y la simulación constructiva fomenta el estudio de la implantación en obra, permitiendo analizar los movimientos de grúas, maquinaria y optimizar la ubicación idónea de los acopios en obra, buscando minimizar los transportes y movimientos de materiales. El fin último de estas acciones es lograr una disminución en la generación de RCD por roturas y mermas de los materiales.



Criterios orientados al medioambiente

Para estudiar los criterios que fomentan una estrategia de modelado que analiza el impacto medioambiental, y permite disminuir el mismo, se necesita seguir los criterios orientados a la medición.

En este caso, además de lo ya explicado, se necesita generar unos parámetros nuevos que cuantifiquen la huella de carbono del elemento constructivo, concretamente:

Kg de CO ₂ por Fabricación 1	Kg de CO ₂ por construcción 1	Kg de CO ₂ por Transporte 1
Kg de CO ₂ por Fabricación 2	Kg de CO ₂ por construcción 2	Kg de CO ₂ por Transporte 2
Kg de CO ₂ por Fabricación 3	Kg de CO ₂ por construcción 3	Kg de CO ₂ por Transporte 3
Kg de CO ₂ por Fabricación 4	Kg de CO ₂ por construcción 4	Kg de CO ₂ por Transporte 4
Kg de CO ₂ por Fabricación 5	Kg de CO ₂ por construcción 5	Kg de CO ₂ por Transporte 5
Kg de CO ₂ por Fabricación 6	Kg de CO ₂ por construcción 6	Kg de CO ₂ por Transporte 6
Kg de CO ₂ por Fabricación 7	Kg de CO ₂ por construcción 7	Kg de CO ₂ por Transporte 7

Según sea el criterio de modelado, se necesita incorporar esta información por cada material, por ese motivo se facilitan hasta 7 campos diferentes. No obstante, y al igual que ocurre con la cuantificación de RCD, en caso de ser necesario, se deberán generar nuevos parámetros, tantos como haga falta.

Es importante remarcar que estos parámetros, al igual que los de cuantificación de RCD, deben generarse como tipología de IFC, dando lugar a un *Property Sets* que agrupe estas características en los archivos que se exporten, facilitando el estudio y análisis del impacto de la huella de carbono.

Criterios orientados a la fabricación digital

Es el último de los criterios relacionados con los usos BIM orientados a la gestión de RCD. No obstante, como ocurría como los criterios orientados a la logística, no necesita introducir nuevos parámetros ni pautas de modelado.

Siguiendo las pautas dadas para los criterios anteriores, se pueden utilizar modelos orientados a la fabricación digital, con un impacto positivo en cuanto a la cantidad de RCD generados. Para ello, lo más importante es que los modelos se generen con una alta precisión geométrica, puesto que se necesita para generar correctamente la pieza.

Con los criterios facilitados en los anteriores puntos se garantiza una correcta elaboración de modelos para la fabricación digital.

B1.4. CONCLUSIONES PROCEDIMIENTO PARA GESTIÓN RCD

El presente documento identifica y desarrolla los principales usos BIM que pueden extraerse orientados a la gestión de RCD. Para satisfacerlos, se ha buscado explicar de manera ágil criterios que faciliten la elaboración de modelos para la gestión de RCD. La figura 2 resume el procedimiento a considerar.

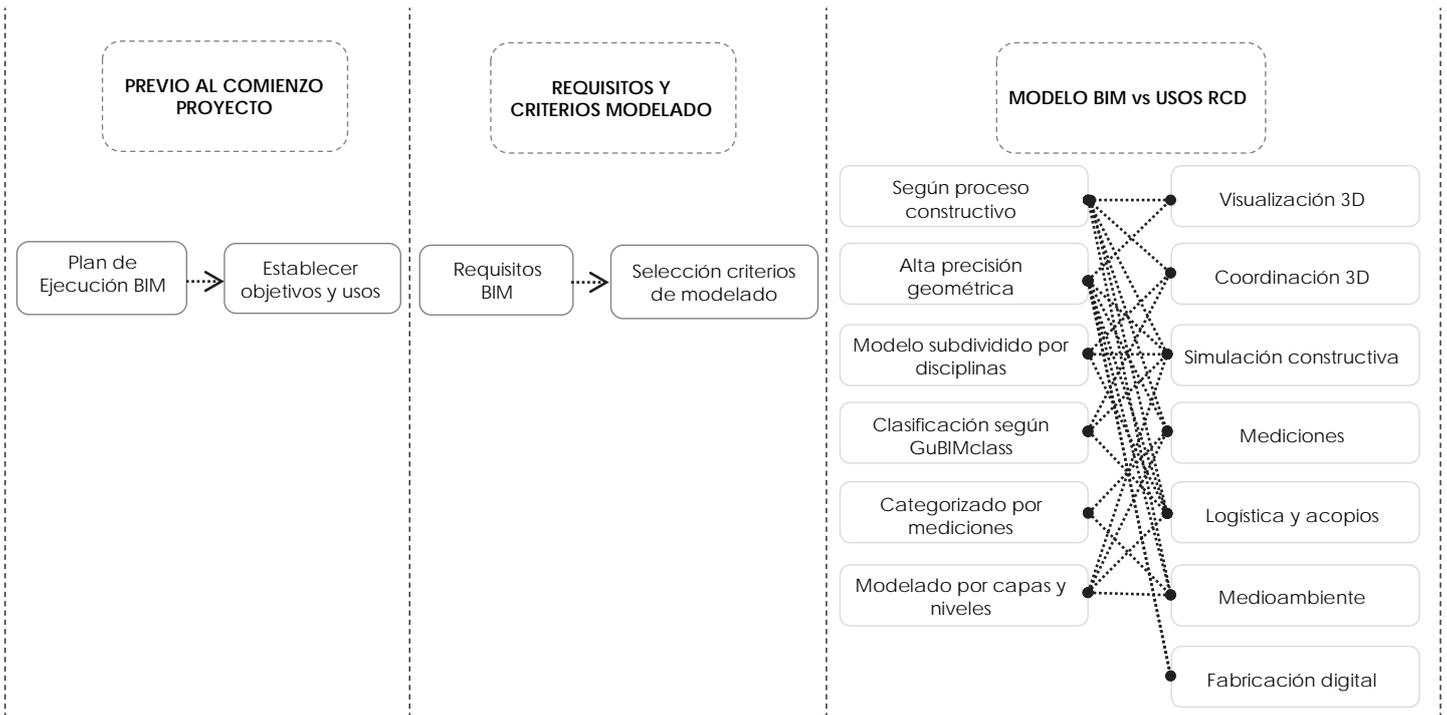


Figura 2. Resumen procedimiento y criterios trabajo

B1.5. FUTURAS LÍNEAS DE DESARROLLO

Queda para futuras líneas de desarrollo determinar la relación existente entre las diferentes fases de desarrollo del proyecto, vinculadas al Nivel de Información Necesario en cada una de ellas, y qué nivel de desarrollo debería tener cada uso BIM relacionado con la gestión de RCD según sean la fase de desarrollo y el NIN exigido.