



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE LA EDIFICACIÓN

GRADO EN EDIFICACIÓN
CURSO 2019/2020

GESTIÓN DE LA CALIDAD EN MODELADO BIM BAJO EL ENFOQUE DE PROJECT MANAGEMENT

PROYECTO DE FIN DE GRADO



Autor: David Ayala Ayala
Tutor: Dr. Pedro Fernández de Valderrama Aparicio



Escuela Técnica Superior de
Ingeniería de Edificación

AGRADECIMIENTOS

Dedico particularmente este trabajo a mis padres, quienes me han dado la educación correcta desde que nací, porque es gracias a su esfuerzo y trabajo lo que ha garantizado que yo pueda conseguir la meta de obtener este título.

Doy las gracias especialmente a mi novia, pues ha sido mi apoyo incondicional en todos los agobios, la que me ha ayudado a levantarme en duros momentos y con quien tengo el placer de celebrar el fruto de este largo viaje.

Agradezco también a todas aquellos amigos y compañeros presentes en el transcurso del grado.

Por último, gracias a todos los profesores que he tenido en la docencia pues son los que me han transmitido todos los conocimientos técnicos que hoy preciso. Gracias particulares a mi tutor en este Proyecto de Fin de Grado, Dr. Pedro Fernández de Valderrama Aparicio, por su ayuda y consejos.

"Anyone who stop learning becomes old, whether he is 20 or 80 years old. Anyone who keeps learning stays young. This is the greatness of life."

Henry Ford (1863-1947)

"Cualquiera que para de aprender se hace viejo, tanto si tiene 20 como 80 años. Cualquiera que sigue aprendiendo permanece joven. Esta es la grandeza de la vida."

Henry Ford (1863-1947)

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN AL PROYECTO	7
1.1.	PRÓLOGO	7
1.1.1.	<i>RESUMEN</i>	7
1.1.2.	<i>MOTIVACIONES Y ALCANCE DEL PROYECTO</i>	7
1.1.3.	<i>ESTRUCTURA DEL PROYECTO</i>	8
1.2.	JUSTIFICACIÓN	9
1.2.1.	<i>TEMA ELEGIDO</i>	9
1.2.2.	<i>COMPETENCIAS</i>	9
1.3.	ESTADO DE LA CUESTIÓN	10
1.4.	OBJETIVOS.....	11
1.5.	METODOLOGÍA	12
2.	DESARROLLO DEL TRABAJO	13
2.1.	SITUACIÓN ACTUAL	13
2.2.	PROJECT MANAGEMENT.....	14
2.2.1.	<i>ANTECEDENTES</i>	14
2.2.2.	<i>DESCRIPCIÓN DEL REFERENTE</i>	15
2.2.3.	<i>BASES DEL PMBOK</i>	16
2.3.	BUILDING INFORMATION MODELING	20
2.3.1.	<i>ANTECEDENTES</i>	20
2.3.2.	<i>DESCRIPCIÓN DEL REFERENTE</i>	22
2.3.3.	<i>BASES DEL BIM</i>	24
2.4.	PLAN DE GESTIÓN DE LA CALIDAD	29
2.4.1.	<i>GRUPOS DE PROCESOS</i>	29
2.4.2.	<i>PROCESOS</i>	30
2.4.3.	<i>LOD 000</i>	31
2.4.4.	<i>LOD 100</i>	41
2.4.5.	<i>LOD 200</i>	45
2.4.6.	<i>LOD 300/350</i>	59
2.4.7.	<i>LOD 400</i>	63
2.4.8.	<i>LOD 500</i>	67
3.	RESULTADOS DEL TRABAJO	71
3.1.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	71
3.2.	CONCLUSIONES.....	74
3.3.	FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.....	76
4.	REFERENCIAS.....	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1: Comparativa de producción (U.S. Dept. of Commerce, 2006). Fuente: tallerBim.com (2018).....	13
Ilustración 2: Línea del tiempo de la historia de gestión de proyectos. Fuente: edpm.es (2014).	14
Ilustración 3: Cronograma evolutivo de la tecnología BIM. Fuente: esmartcity.es (2016).....	20
Ilustración 4: Niveles de madurez BIM (Bew-Richards, 2008). Fuente: blog.instop.es (2018)...	23
Ilustración 5: Curva de MacLeamy (Patrick MacLeamy, 2004). Fuente: esmartcity.es (2016)...	24
Ilustración 6: Usos BIM durante el ciclo de vida del edificio (Penn State BIM Project Execution Planning Guide, 2010).	26
Ilustración 7: Level of Development (PracticalBIM, 2013). Fuente: practicalbim.blogspot.com	27
Ilustración 8: Esquema general procesos (Elaboración propia).....	30
Ilustración 9: Ejemplo EDT (YEPES, V.; MARTÍ, J.V.; GONZÁLEZ-VIDOSA, F.; ALCALÁ, J.; 2012)..	32
Ilustración 10: Relación de costes de la calidad (Project Management Institute,2013). Fuente: Guía del PMBOK.	34
Ilustración 11: Ejemplo matriz de priorización para toma de decisiones (Elaboración propia). 35	
Ilustración 12: Ejemplo diagrama de flujo (Elaboración propia).....	36
Ilustración 13: Organización de figuras con metodología BIM (Elaboración propia).	37
Ilustración 14: Esquema proceso, LOD 000 – Planificar la Calidad (Elaboración propia).	40
Ilustración 15: Esquema proceso, LOD 100 – re-Planificar la Calidad (Elaboración propia).....	44
Ilustración 16: Level of Development Specification, LOD 200 construcción de escalera (Bim Forum, 2019). Fuente: Bim-International.com	45
Ilustración 17: Ejemplo hoja de verificación (Smart, B.;2014). Fuente: buidingsmart.es.....	47
Ilustración 18: Ejemplo diagrama de afinidad (Elaboración propia).....	49
Ilustración 19: Esquema proceso, LOD 200 – Gestionar la Calidad (Elaboración propia).....	51
Ilustración 20: Ejemplo histograma de defectos por paquetes de trabajo (Elaboración Propia).	54
Ilustración 21: Esquema proceso, LOD 200 – Controlar la Calidad (Elaboración propia).	56
Ilustración 22: Interacción entre los procesos de gestión y control de la calidad (Elaboración propia).....	57
Ilustración 23: Level of Development Specification, LOD 300 construcción de escalera (Bim Forum, 2019). Fuente: Bim-International.com	59
Ilustración 24: Level of Development Specification, LOD 350 construcción de escalera (Bim Forum, 2019). Fuente: Bim-International.com	60
Ilustración 25: Esquema proceso, LOD 300/350 – Gestionar la Calidad (Elaboración propia)...	61
Ilustración 26: Esquema proceso, LOD 300/350 – Controlar la Calidad (Elaboración propia)...	62
Ilustración 27: Level of Development Specification, LOD 400 construcción de escalera (Bim Forum, 2019).	63
Ilustración 28: Esquema proceso, LOD 400 – Gestionar la Calidad (Elaboración propia).....	65

Ilustración 29: Esquema proceso, LOD 400 – Controlar la Calidad (Elaboración propia).	66
Ilustración 30: Esquema proceso, LOD 500 – Gestionar la Calidad (Elaboración propia).....	69
Ilustración 31: Esquema proceso, LOD 500 – Controlar la Calidad (Elaboración propia).	70
Ilustración 32: Esquema general de la Guía de Gestión de Calidad.....	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Ventajas en la aplicación efectiva de la dirección de proyectos. (Elaboración propia)	16
Tabla 2: Tabla de Áreas de conocimiento y Grupos de Procesos (Project Management Institute,2013).....	19
Tabla 3: Análisis del desarrollo de BIM (Latiffi, A. A., Brahim, J., & Fathi, M. S.; 2014).....	21
Tabla 4: Ejemplo Matriz de Trazabilidad de Requisitos (Elaboración propia).....	33
Tabla 5: Ejemplo matriz de trazabilidad de archivos (Elaboración Propia).....	48
Tabla 6: Ejemplo de registro de modificaciones en obra (Elaboración propia).....	67

1. INTRODUCCIÓN AL PROYECTO

1.1. PRÓLOGO

1.1.1. RESUMEN

El sector de la construcción está presente en todo el mundo y es uno de los aspectos que describen económica y socialmente un estado. Tanto es así, que cuanto más eficiente es esta industria, más calidad adquiere y más accesible es, no solo mejorando ella misma sino también a los otros sectores. No obstante, generalmente, es una de las más reacias al cambio metodológico y tecnológico, considerándose de las menos eficientes. De aquí, la exigencia de añadir renovados procesos y tecnologías actuales para combatirlo.

Desarrollándose por otro lado tecnologías *BIM* y metodologías como *Project Management*, hace pensar a muchas empresas, organizaciones y países, la necesidad de incorporarlas en el sector de la construcción.

Por ello, este documento expone la historia y referentes de *BIM* y *Project Management*, junto con sus beneficios y utilidades en el campo de la construcción actual.

El proyecto de investigación propone una Guía de Gestión de Calidad basada en los fundamentos de *Project Management*, para su uso en empresas, estudios y organizaciones que utilicen la herramienta *BIM* como metodología de trabajo en modelado de proyectos.

1.1.2. MOTIVACIONES Y ALCANCE DEL PROYECTO

En la exposición de los temas de D. Pedro Fernández de Valderrama Aparicio (profesor y tutor del proyecto), brotan en mí dos opciones básicas: la de realizar un proyecto técnico y repetir, aplicar y perfeccionar aquellos conceptos ya adquiridos durante el transcurso de la carrera; o la opción de elaborar un proyecto de investigación en algo novedoso como *Proptech* o *Project Management*.

Entonces, la curiosidad por conocer y comprender algo nuevo apareció. Decidí realizar un proyecto de investigación en *BIM* y *Project Management*; que, por un lado, cada día es más relevante en el mundo profesional dentro de nuestro sector generando una revolución en el método de trabajo y diseño de proyectos y, por otro, los pocos conocimientos que se adquieren en el grado sobre estos temas me hacen sentir incompetente en tales aspectos.

El proyecto tiene la intención de investigar las aplicaciones *BIM* y los aspectos positivos que aporta su utilización, generando una mentalidad de diseñar con calidad para ejecutar con rigor, aplicando los principios de *Project Management* como método de gestión de calidad.

1.1.3. ESTRUCTURA DEL PROYECTO

De cara a la consecución de objetivos, el proyecto introduce la situación actual de la industria de la construcción en cuanto a productividad y eficacia en el trabajo, y como contrasta esto con el desarrollo de tecnologías y metodologías como son *BIM* y *Project Management*.

A continuación, se estudia la historia de la Dirección de Proyectos, los principales referentes mundiales y se analizan los procesos y áreas de conocimiento explicadas en el "Project Management Body of Knowledge" (*Project Management Institute, 2013*) para sacar en clave aquellos que puedan ser aplicables a nuestro sector, además de aquellos que ya son pertenecientes del *Project Management* en construcción.

En tercer lugar, es necesario hacer una introducción a *BIM* para conocer sus antecedentes, principal exponente europeo y, ya dentro de la propia metodología, sus usos más característicos, detallando cuáles son fundamentales para el ciclo de vida de un edificio al completo.

Hasta aquí, el preámbulo de las instrucciones necesarias para poner en situación al leyente de lo que a continuación se expondrá.

Seguidamente, se explicará en qué se basa una Guía de Gestión de Calidad para los trabajos de uso *BIM* en modelado, desde que se tiene la idea o concepto de la construcción de un edificio hasta la consolidación del mismo, incluso en su fase posterior de uso, utilizando los procesos de gestión de calidad del *Project Management*.

Por último, al final del escrito se observa un análisis de resultados y las conclusiones a las que se ha llegado con el desarrollo del trabajo, además de referencias y anexos.

1.2. JUSTIFICACIÓN

1.2.1. TEMA ELEGIDO

El tema elegido se justifica a partir de la utilización profesional de softwares utilizados para la metodología *BIM* en proyectos de construcción y de los procedimientos de Dirección de Proyectos como mano derecha del promotor. Son temas muy acordes a las necesidades tecnológicas y metodológicas actuales en nuestro ámbito y de inminente exigencia en el mundo laboral que nos encontramos, siendo por ello un tema adecuado al caso.

1.2.2. COMPETENCIAS

Como futuro titulado en un grado de ingeniería técnica de edificación, dispongo con las competencias necesarias para la realización de un proyecto de investigación sobre el tema tratado en este documento. Además, se pretende adquirir nuevas competencias en la adaptación de los conocimientos propios de la Dirección de Proyectos para llevar a cabo una gestión de calidad en los procedimientos de trabajo para el modelado de proyectos con la herramienta *BIM*.

1.3. ESTADO DE LA CUESTIÓN

Como ya hemos comentado, el sector de la construcción necesita de avances tecnológicos y metodológicos. De hecho, ya es una realidad la existencia de estos y la implantación de softwares *BIM* y metodologías de Dirección de Proyectos o *Project Management* en empresas.

La tendencia actual en aplicación de softwares *BIM* está en auge. No obstante, generalizadamente, se tiene un concepto erróneo y cerrado sobre su uso, lo cual conlleva a una utilización de softwares desmedida sin algún tipo de control que garantice los beneficios de la metodología para cubrir las necesidades establecidas. Dicho de otra manera, muchas veces se utiliza vulgarmente como un simple software que modela con elementos constructivos.

Aquí es donde entra en escena el conocido *BIM Execution Plan* (BEP), a partir del cual se da un orden lógico para la ejecución de un proyecto mediante la metodología *BIM*. Acerca de ello he encontrado numerosos proyectos de fin de grado/máster, que desarrollan un BEP de un determinado proyecto; por ejemplo "PLAN DE EJECUCIÓN BIM DE UN PROYECTO DE RETAIL SIGUIENDO LAS ÁREAS DE CONOCIMIENTO DEL PMBOK" (Jose María Rodrigo Ortega, 2016). Este trabajo ejecuta un BEP, específico para un local concreto, teniendo en cuenta de forma generalizada las áreas de conocimiento del PMBOK.

Aunque existan procedimientos para ejecutar un proyecto con la herramienta *BIM*, no aseguran que los trabajos que se realicen sobre el modelo cumplan con los objetivos del proyecto y que el producto final de su utilización obtenga la funcionalidad requerida para cubrir las necesidades.

Por otro lado, la implantación de metodologías de Dirección de Proyectos en construcción, entre otras cosas, protege la deficiencia en la mala ejecución de lo anterior. Sobre esto existen numerosos proyectos de fin de grado/máster orientados a la creación de Oficinas de Gestión de Proyectos (PMO) en ámbitos de construcción, incluso alguno innovador que decide implantar usos *BIM* en la Dirección de Proyectos; como "DESARROLLO DE UN PLAN DE GESTIÓN DE PROYECTOS MODELO PARA LA EMPRESA AFSA Y PROPUESTA PARA IMPLEMENTAR UNA FUTURA OFICINA DE GESTIÓN DE PROYECTOS" (Salvador Capuz Rizo, 2019). Este trabajo se apoya en *Project Management* para mejorar los procedimientos de gestión de proyectos en dicha empresa.

Dadas las circunstancias, es una buena opción proponer un procedimiento basado en las directrices ofrecidas por la metodología *Project Management*, particularmente de la "Guía del PMBOK" (Project Management Institute, 2013), para asegurar la calidad en los trabajos de modelado con la herramienta *BIM*.

1.4. OBJETIVOS

Un objetivo general del trabajo es conocer la situación actual de la industria de la construcción en cuanto a productividad y la relación de esto con la implementación en proyectos de las ya comentadas tecnologías y metodologías desde el inicio del proyecto, para averiguar cuánto, cómo y el porqué de su utilización.

En segundo lugar, como objetivo específico, mostrar los fundamentos sobre la metodología *BIM* y los procesos de la "guía PMBOK" del *Project Management Institute*, presentando, de forma ordenada y actualizada, las aplicaciones y beneficios que pueden obsequiar a nuestro sector en función de la información que muchos artículos brindan sobre estos temas.

Y finalmente, aplicar estos conceptos en una Guía de Gestión de Calidad, de tal manera que en cada LOD (Level Of Development) del modelado en *BIM* se apliquen todos aquellos aspectos beneficiosos del *Project Management* para verificar la adecuación del modelo, unificando en un mismo procedimiento ambas estrategias de trabajo.

1.5. METODOLOGÍA

La metodología a seguir con vistas a la consecución de los objetivos planteados por parte del presente trabajo de investigación es:

1. El primer paso, para enfocar el proyecto al tema elegido, es la búsqueda de información acerca de la situación actual del sector en cuanto a la implantación de tecnologías y metodologías para la ejecución de proyectos.
2. Como adición a lo anterior, es fundamental comprender el por qué y el cómo de la existencia de estas metodologías. Valorar la historia y antecedentes de, más concretamente, *BIM* y *Project Management* es conveniente, pues todo lo que hoy en día existe es gracias a las necesidades, aciertos y errores del pasado.
3. Tras esto, ubicarnos en la actualidad analizando los líderes mundiales en la utilización de estas metodologías para tener un referente en el que fijarnos y fundamentar los conceptos tratados.
4. Continuando con la investigación, hemos de analizar los conocimientos del *Project Management*, en concreto, las expuestas por el *Project Management Institute (PMI)* en la "Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos" (PMBOK) y su extensión para la construcción.
5. De la misma manera, hemos de realizar un análisis profundo de la metodología *BIM*, determinando en qué consiste, cuáles son sus beneficios, cuál es su utilización y cómo se desarrolla un proyecto a partir de sus procedimientos.
6. Para plantear coherentemente la Guía de Gestión de Calidad, el siguiente paso es interiorizar el área de conocimiento de gestión de la calidad expuesta en el PMBOK, contemplando entradas, salidas y herramientas a disposición para la dirección de proyectos.
7. Siguiendo con el proceso, investigaremos acerca de la posibilidad de encajar ambas metodologías para cumplir los propósitos del trabajo.
8. Como introducción a la Guía, se realizará un primer enfoque de la gestión de calidad, ubicando los procesos al ciclo de vida de un proyecto modelado con la herramienta *BIM*.
 - 8.1. Ya confeccionando la Guía y de forma reiterada en toda su redacción, realizar una criba y perfilado de lo dispuesto por el PMBOK en la gestión de la calidad, para orientar estos conocimientos al comienzo del proyecto y su fase de diseño conceptual en LOD 000 y LOD 100.
 - 8.2. De esta forma, continuaremos adaptando la gestión de la calidad para un desarrollo del diseño en LOD 200.
 - 8.3. Prosiguiendo con el ciclo de vida del proyecto, con vistas a terminar el modelado en fase de diseño, orientaremos los conocimientos del PMBOK para LOD 300/350.
 - 8.4. Seguiremos acondicionando el área de conocimiento de gestión de la calidad para un posible modelado en fase de ejecución, es decir, LOD 400.
 - 8.5. Por último, ajustar la gestión de la calidad para poder obtener un modelo "as-built" adecuado a la futura fase de operación y mantenimiento del edificio construido, en LOD 500.
 - 8.6. Para terminar, paralelamente a lo anterior, buscar y aplicar documentos técnicos que complementen y mejoren la investigación.

2. DESARROLLO DEL TRABAJO

2.1. SITUACIÓN ACTUAL

Mientras que en la mayoría de las industrias se realiza todos los días un similar número de unidades de producto, en la misma ubicación, en las mismas máquinas y equipos; en la construcción necesitas implantar la fábrica en una ubicación determinada, establecer la maquinaria y equipos específicos al producto del caso particular, construir el producto y desmontar la fábrica. Esto hace de la construcción un sector arriesgado, pues existen infinitas variables que determinan la viabilidad de un proyecto, generando en las empresas implicadas un instinto por gastar lo mínimo y ejecutar lo antes posible para hacer un margen de beneficio más amplio y ser capaces de asumir en el proyecto esas variables e imprevistos que puedan surgir en el proceso de construcción.

A mi modo de ver, esta mentalidad ha propiciado que la industria de la construcción sea reacia a la inversión en avance tecnológico y mejora de procedimientos técnicos, creando una gran ineficiencia del método tradicional para satisfacer los, cada día más exigentes, requerimientos técnicos.

A diferencia de las demás industrias que sí han sido capaces de mejorar su productividad con la inversión en tecnología y sus procesos, la producción en construcción se ha estancado a lo largo de los años, incluso tiene tramos de decadencia considerables, tal y como se expresa en la *Ilustración 1*:

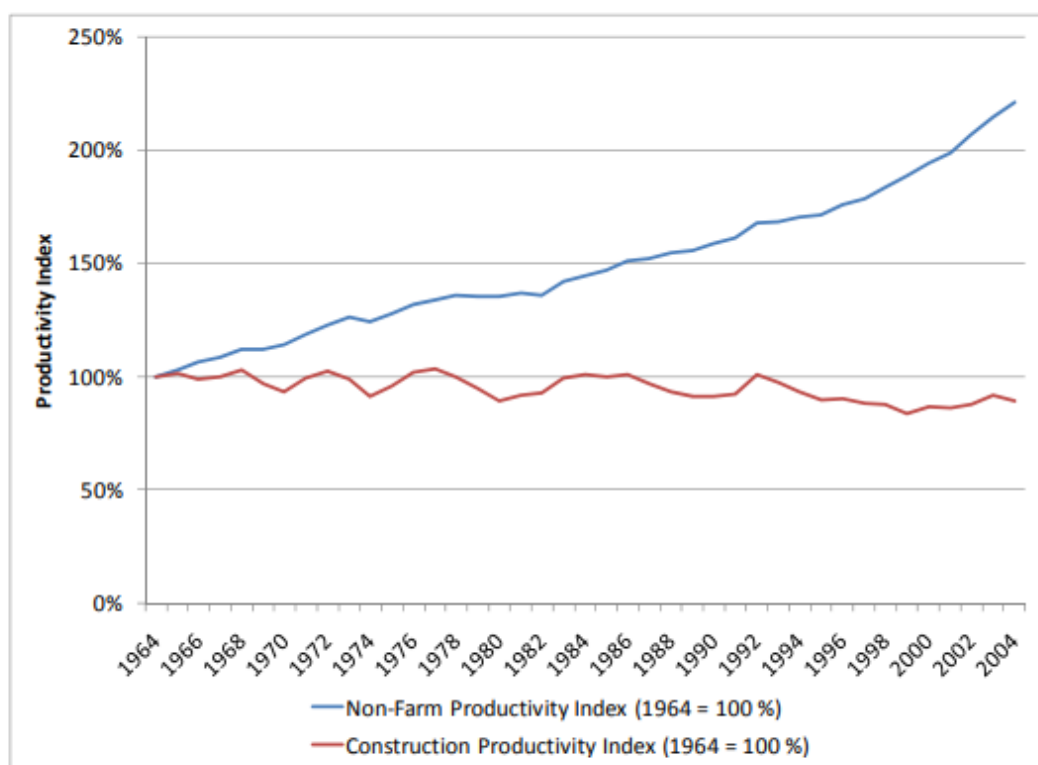


Ilustración 1: Comparativa de producción (U.S. Dept. of Commerce, 2006). Fuente: tallerBim.com (2018).

Así confrontan la construcción y otras industrias, donde la búsqueda de la mejora continua es un factor clave no sólo para la mejora de los productos, sino para el mejor rendimiento económico de la empresa, y donde se invierte por tanto en sistemas de gestión de calidad para el producto finalizado y el procedimiento tecnológico para realizarlo.

2.2. PROJECT MANAGEMENT

2.2.1. ANTECEDENTES

Para acontecer sus antecedentes, planteo de manera conjunta en los siguientes párrafos lo que se expone en los referentes artículos análogos: “Breve historia sobre la administración de proyectos” (Haughey, D.; 2012) y “Breve historia de la gestión de proyectos” (Pampliega, C. J.; 2013).

Si la Gestión de Proyectos, o *Project Management*, se define como el acto de reunir a las personas adecuadas para lograr planificadamente una meta común, entonces podemos pensar que esta actividad ha existido desde la antigüedad. Pensemos en los egipcios erigiendo la Gran Pirámide de Giza (2570 a.C.), o al emperador de China al mando de la obra para construir la Gran Muralla China (208 a.C.).

A pesar de la aparición de nuevos estándares en la dirección de proyectos, y de los cambios tecnológicos a través del tiempo, el objetivo de la Gestión de Proyectos se ha mantenido intacto: entregar proyectos exitosos de una manera clara y eficaz. Puede datarse el nacimiento de la Gestión o Dirección de Proyectos a comienzos del siglo XX, con la aparición de los primeros métodos. En concreto, el inicio se sitúa en 1917 con el surgir del Diagrama de Gantt.

Este fue una idea radical y una innovación de importancia para todo el mundo en la década de 1920. Uno de sus primeros usos fue en el proyecto Hoover Dam iniciado en 1931. El Diagrama de Gantt todavía se utiliza en la actualidad y constituye una pieza importante de la caja de herramientas de cualquier Project Manager.

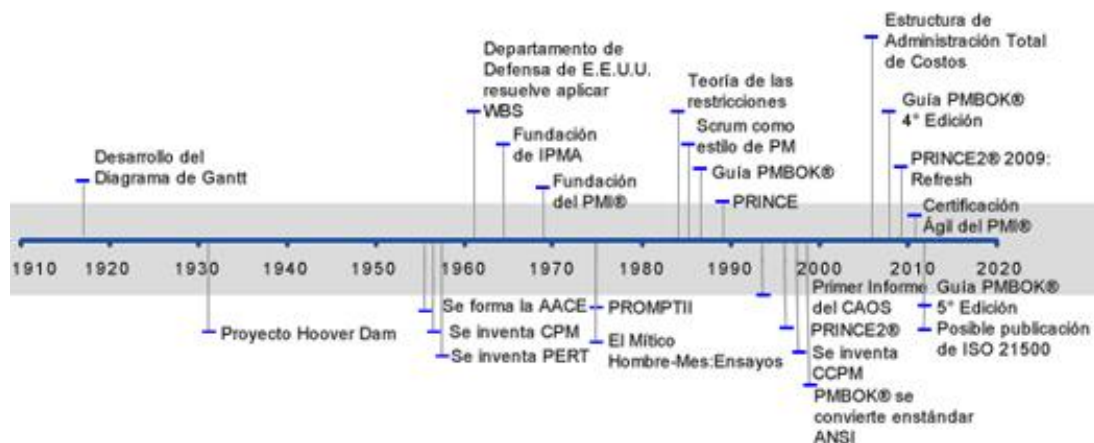


Ilustración 2: Línea del tiempo de la historia de gestión de proyectos. Fuente: edpm.es (2014).

La metodología PERT (Program Evaluation and Review Technique) y CPM (Critical Path Method) llegan a mediados de los 50.

En 1957, una de las empresas más antiguas de la actualidad y pionera en el desarrollo de innovaciones de todo tipo, Dupont Corporation creó el CPM que es una técnica utilizada para predecir la duración de un proyecto al analizar cuáles secuencias de actividades tienen la menor cantidad de flexibilidad dentro del calendario.

En 1958, la Oficina de Proyectos Especiales de la Armada del Departamento de Defensa de los Estados Unidos desarrolló PERT como parte del proyecto Polaris de misil balístico

móvil lanzado desde submarino durante la Guerra Fría. PERT es un método que permite analizar las tareas involucradas en la realización de un proyecto, especialmente el tiempo necesario para completar cada tarea e identificar el tiempo mínimo requerido para concluir el proyecto total.

No es hasta el 1969 que nace en los EEUU el *PMI (Project Management Institute)*. Cinco voluntarios fundaron esta organización profesional sin fines de lucro dedicada a contribuir con el avance de la práctica, ciencia y profesión de administración de proyectos. En ese mismo año, el *PMI* celebró su primer simposio en Atlanta, Georgia con una asistencia de 83 personas. A partir de ahí la organización fue creciendo hasta convertirse en la principal organización de gestión de proyectos a nivel mundial.

En 1987 el *PMI* publicó la primera edición de la "Guía del PMBOK" (*Project Management Body of Knowledge*) que es el estándar actual para la gestión de proyectos, y en 1998 tanto *The American National Standards Institute (ANSI)* como el *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)* reconocieron el PMBOK como estándar a nivel mundial.

Asimismo el *PMI* es el responsable de la creación del programa de certificación *PMP (Project Management Professional)*, con el objetivo de profesionalizar el rol del gestor de proyectos y dotarle del reconocimiento que se merece.

Sin duda, nuevas técnicas y mejores prácticas surgirán a medida que empujamos los límites de lo que es posible y nuevos retos también emergerán. Los seres humanos necesitamos llevarnos hacia adelante a un futuro mejor y con esto vendrán mejoras en la forma de manejar los proyectos. Cuándo y dónde se suscitarán esos desarrollos, es algo incierto pero lo que sí es seguro es que ocurrirán.

2.2.2. DESCRIPCIÓN DEL REFERENTE

En la década de 1960 nacieron organizaciones que han ayudado al desarrollo del fundamento de la gestión y dirección de proyectos, para prometer seguridad en cuanto a previsibilidad y calidad de los resultados.

Este concepto se ha desplegado como la base de una nueva función profesional: la gestión de proyectos predictiva.

Las organizaciones más importantes en esta tendencia son:

- *International Project Management Association (IPMA)*,
- *Project Management Institute (PMI)* y
- *PRINCE2*.

Las dos primeras tuvieron su origen como organizaciones profesionales para desarrollar metodologías y procesos para la gestión válida de proyectos.

PRINCE2 tuvo un desarrollo inverso. Empezó formándose como un método de referencia para un reducido espacio de proyectos de Tecnologías de Información, sobre el que se ha terminado creando una organización en 1975. En 1989 pasó a denominarse *PRINCE* y en 1996 terminó con el nombre definitivo de *PRINCE2*, encaminado a la gestión y dirección de toda clase de proyectos.

Actualmente, los estereotipos del *PMI* son las pautas más consideradas en la profesión y son cada vez más utilizadas como guía para la gestión de proyectos privados y públicos.

Estos modelos están beneficiosamente valorados por ofrecer una dialéctica universal para la gestión de proyectos en todo el mundo.

“A Guide to the Project Management Body of Knowledge” o “PMBOK Guide” (*Project Management Institute, 2013*), como una unión de los descubrimientos realizados por el PMI y los estándares dictados brota este documento, cual éxito le ha conllevado a publicar la sexta edición y cuyo argumento está valorado como las mejores prácticas de la profesión mundialmente.

2.2.3. BASES DEL PMBOK

Referenciando la “Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos” o “Project Management Body of Knowledge” (*Project Management Institute, 2013*), un proyecto es un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único con la consecución de objetivos mediante la producción de entregables.

Claramente, la construcción de un edificio es un ejemplo de proyecto. Su naturaleza contempla un principio y un fin definidos, que será más o menos extendidos en el tiempo en función de la complejidad del proyecto.

La “Guía del PMBOK” define la dirección de proyectos como la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas a las actividades del proyecto para cumplir con los requisitos del mismo. Se logra mediante la aplicación e integración adecuadas de los procesos de dirección de proyectos identificados para el proyecto, permitiendo a las organizaciones ejecutar proyectos de manera eficaz y eficiente.

En la *Tabla 1* podemos destacar resumidamente las ventajas de su correcta aplicación y las desventajas de no utilizarla o hacerlo erróneamente.

Dirección deficiente o ausencia de ella	Dirección de Proyectos Eficaz
<ul style="list-style-type: none"> • Incumplimiento de plazos, • Sobrecostos, • Calidad deficiente, • Trabajo extra, • Expansión no controlada del proyecto, • Pérdida de reputación para estudio o empresa, • Partes insatisfechas, e • Incumplimiento de objetivos propuestos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Consecución de objetivos, • Satisfacer expectativas de interesados, • Aumentar posibilidades de éxito, • Resolver problemas e incidentes, • Optimizar el uso de recursos, • Gestionar restricciones, y • Responder a riesgos de manera oportuna.

Tabla 1: Ventajas en la aplicación efectiva de la dirección de proyectos. (Elaboración propia)

Dicho documento contempla una serie de componentes clave que sirven de fundamento para la gestión del método que, aplicados de manera correcta, conllevan al éxito. Los define de la siguiente manera:

- **Ciclo de vida del proyecto:** serie de fases que atraviesa un proyecto desde su inicio hasta su fin.
- **Fase del proyecto:** conjunto de actividades del proyecto relacionadas lógicamente que culmina con la finalización de uno o más entregables.

- **Procesos de la dirección de procesos:** serie sistemática de actividades dirigidas a producir un resultado final de forma tal que se actuará sobre una o más entradas para crear una o más salidas.
- **Grupo de procesos de la dirección de proyectos:** agrupamiento lógico de las entradas, herramientas, técnicas y salidas relacionadas con la dirección de proyectos.
- **Área de conocimiento de la dirección de proyectos:** Área identificada de la dirección de proyectos definida por sus requisitos de conocimientos y que se describe en términos de sus procesos, prácticas, datos iniciales, resultados, herramientas y técnicas que los componen.

Para la gestión del ciclo de vida de un proyecto se ejecutan actividades conocidas como procesos de la dirección de proyectos, que se aplican e integran agrupados lógicamente.

La "Guía del PMBOK" los organiza en cinco grupos para alcanzar objetivos específicos del proyecto:

- **Grupo de Procesos de Inicio:** procesos para la definición de un nuevo proyecto existente o fase al obtener la autorización para su inicio.
- **Grupo de Procesos de Planificación:** procesos para determinar el alcance del proyecto, objetivos y definir el rumbo hacia la consecución de objetivos propuestos.
- **Grupo de Procesos de Ejecución:** procesos establecidos para completar el plan a fin de satisfacer los requerimientos.
- **Grupo de Procesos de Monitoreo y Control:** procesos realizados para el análisis del avance y funcionamiento del proyecto, identificación de áreas en las que se necesiten cambios e iniciarlos.
- **Grupo de Procesos de Cierre:** procesos ejecutados para terminar el proyecto, fase o contrato.

Por otro lado, los procesos también se agrupan en Áreas de Conocimiento:

- **Gestión de la Integración del Proyecto:** en ella se ubican los procesos y actividades que incumben a identificar, definir, combinar, unificar y coordinar los diversos procesos y actividades de dirección del proyecto dentro de los Grupos de Procesos.
- **Gestión del Alcance:** trata los procesos necesarios para asegurar que el proyecto incluye la totalidad del trabajo requerido y no más, para que su finalización sea exitosa.
- **Gestión del Cronograma:** incluye los procesos para determinar la finalización del proyecto a tiempo.
- **Gestión de Costos:** contempla los procesos referentes a financiar, estimar, presupuestar, planificar, gestionar y controlar los costos de forma que el proyecto quede cubierto por el presupuesto aprobado.
- **Gestión de la Calidad:** esta área se identifica con los procesos para añadir la política de calidad de la organización en cuanto a planificación, gestión y control de los requisitos de calidad del proyecto y el producto, con la finalidad de generar buenas expectativas a los interesados.

- **Gestión de los Recursos:** incluye los procesos destinados a la identificación, adquisición y gestión de los recursos requeridos para la finalización del proyecto.
- **Gestión de las Comunicaciones:** incluye aquellos procesos para asegurar que toda la información del proyecto sea conveniente, apropiada y adecuada.
- **Gestión de los Riesgos del Proyecto:** conlleva los procesos para realizar la planificación de la gestión, identificación, análisis, planificación e implementación de respuesta y monitoreo de los riesgos de un proyecto.
- **Gestión de las Adquisiciones:** Incluye los procesos requeridos para la adquisición de los productos, servicios o resultados necesarios fuera del entorno del equipo de proyecto.
- **Gestión de los Interesados:** añade los procesos indispensables para identificar a las personas, grupos, organizaciones que tienen relación directa o indirecta con el proyecto, analizar sus expectativas y el impacto en el mismo, y para gestionar la participación eficiente de cada uno de ellos de tal manera que puedan intervenir en decisiones y ejecución del proyecto.

A estas ya mencionadas hay que añadir aquellas que menciona, específicamente para nuestro sector, la “Extensión de Construcción de la Guía PMBOK” (PMI, 2016):

- **Gestión de Salud, Protección, Seguridad y Medioambiente.**
- **Gestión financiera del proyecto.**

Todo lo aquí comentado en referencia a la “Guía del PMBOK” y su extensión para construcción, tiene su relación interna para generar que entre procesos existan ligaduras y haga del proyecto un cimiento sólido sobre el que planificar, y una estructura eficaz sobre la que gestionar cada paso en función de otro previo correctamente ejecutado y otro posterior ya definido para dar resultados óptimos a entregables y productos finales.

Según la “Guía del PMBOK” (*Project Management Institute*), un entregable es un producto o resultado único y verificable para ejecutar un servicio que se produce para completar una fase, proceso o proyecto.

En la *Tabla 2* podemos observar donde se ubican, en cuanto a áreas de conocimiento y grupos de procesos, los procesos aplicables a proyectos de construcción.

Áreas de conocimiento	Grupos de proceso de gestión de proyectos				
	Grupo de Procesos de Inicio	Grupo de Procesos de Planificación	Grupo de Procesos de Ejecución	Grupo de Procesos de Monitoreo y Control	Grupo de Procesos de Cierre
4. Gestión de la Integración del Proyecto	■	■	■	■	■
5. Gestión del Alcance del Proyecto		■		■	
6. Gestión del Cronograma del Proyecto		■		■	
7. Gestión de los Costos del Proyecto		■		■	
8. Gestión de la Calidad del Proyecto		■	■	■	
9. Gestión de los Recursos del Proyecto		■	■	●	●
10. Gestión de las Comunicaciones del Proyecto		■	■	■	
11. Gestión de los Riesgos del Proyecto		■		■	
12. Gestión de las Adquisiciones del Proyecto		■	■	■	●
13. Gestión de los Interesados del Proyecto	■	■	■	■	
14. Gestión de salud, protección, seguridad y medio ambiente (HSSE) del proyecto		●	●	●	
15. Gestión financiera del proyecto		●		●	
<p>■ Guía de PMBOK® Áreas de conocimiento y grupos de procesos incluidos en la extensión de construcción.</p> <p>● Áreas de conocimiento y grupos de procesos específicos de la construcción exclusivos de la extensión de la construcción.</p>					

Tabla 2: Tabla de Áreas de conocimiento y Grupos de Procesos (Project Management Institute, 2013).

2.3. BUILDING INFORMATION MODELING

2.3.1. ANTECEDENTES

Después de varios artículos consultados acerca de la historia del *BIM*, la mejor manera de proyectarlo es haciendo referencia al artículo “The development of building information modeling definition” (Latiffi, A. A.; Brahim, J.; & Fathi, M. S.; 2014).

En los próximos párrafos, se cuenta de manera interpretativa lo que los autores contemplan en el citado artículo.

El concepto “*BIM*” es creado por el profesor Charles Eastman, de la *Georgia Tech School of Architecture*, a finales de 1970. En su desarrollo, se fue ampliando desde varias perspectivas que son: el diseño, la valoración, la construcción, el ciclo de vida, el rendimiento y la tecnología. A finales de los 1970, Eastman declaró que los dibujos para la construcción eran ineficientes debido a su limitación para visualizar los edificios y que, además, no se actualizaban. Varias organizaciones de los EEUU y Finlandia desarrollaron programas informáticos que utilizaron las TIC (Tecnologías de Información en Construcción) para resolver estos problemas.

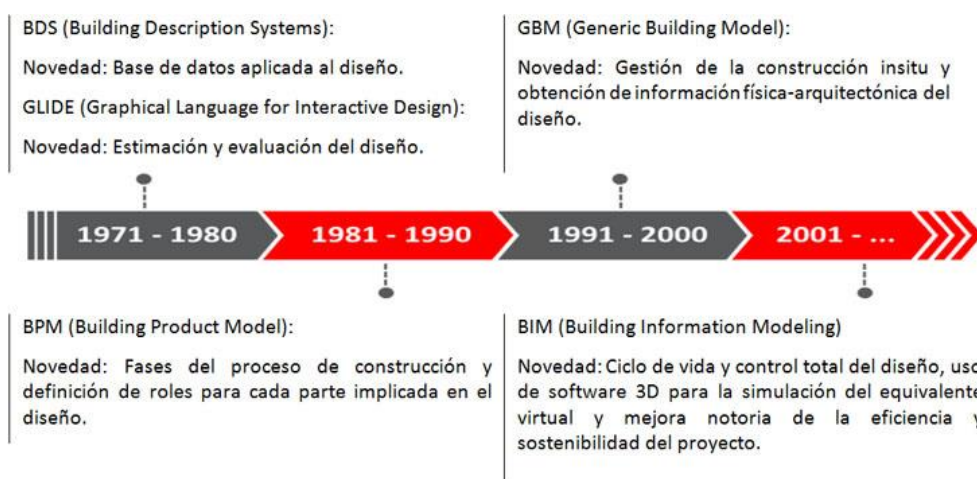


Ilustración 3: Cronograma evolutivo de la tecnología BIM. Fuente: *esmartcity.es* (2016).

Building Description Systems (BDS)

En 1975, *BDS* fue introducido por el profesor Eastman para facilitar la coordinación durante el desarrollo del diseño. *BDS* es una base de datos capaz de definir edificios considerando el diseño y la construcción. Los beneficios de *BDS* fueron definir, modificar y organizar un gran número de elementos, así como la detección de choques de diseño.

Sin embargo, *BDS* no obtuvo amplia popularidad, porque muchos arquitectos no tuvieron la oportunidad de disponer de él. Debido a la limitación de la tecnología a finales de los años setenta, los *BDS* se habían limitado a bibliotecas individuales y a ciertos aspectos del diseño como el arquitectónico, estructural o energético. Por lo tanto, en 1977, el lenguaje gráfico para el diseño interactivo (*GLIDE*) se introdujo en muchos lugares donde se había incorporado el *BDS*. Desde la mejora de *GLIDE*, los dibujos 2D producidos eran más consistentes y exactos. *BDS* y *GLIDE* se limitaron a la participación en la etapa de diseño.

Building Product Model (BPM)

BPM surgió en 1989. Se trataba de un modelo conceptual que utilizaba atributos de objetos y diferentes tipos de relación entre objetos. El modelo era capaz de describir datos en edificios particulares usando diferentes tipos de software de aplicación, pero bajo la misma estructura de información conceptual. Se trataba de una comunicación de alto nivel interpretable por ordenador para el *Computer Aided Design (CAD)* en la construcción. Sin embargo, la comunicación bajo BPM se centró en la información del producto mientras que la industria AEC requería la integración de la información y el conocimiento que se utilizaba para el diseño y la gestión en la construcción.

Generic Building Model (GBM)

En 1995, se introdujo GBM utilizando el concepto de BPM. GBM se amplió para integrar la información del diseño actual y futuro, y podría ser utilizada durante todo el ciclo de vida de la edificación. Como resultado, GBM pudo mejorar la información de los proyectos al incorporar las actividades de construcción.

Sin embargo, la industria de la construcción se había vuelto más compleja y desafiante. Se requería la adopción de las TIC de forma global con el fin de mejorar el rendimiento esperado de los proyectos.

Building Information Modeling (BIM)

BIM cumplía con los requisitos de la industria AEC. Se había aplicado en muchos países como los Estados Unidos, Finlandia, UK, Australia incluso Malasia. En 2000, BIM se definió como un modelo estructurado que representaba elementos de construcción. El uso de BIM se había ampliado desde la fase de pre-construcción hasta la fase de post-construcción.

Development	Construction Phases			Category
	Pre-Construction	Construction	Post-Construction	
BDS	√			Design
GLIDE	√	√		Design and Estimation
BPM	√	√		Design, Estimation and Construction Process
GBM	√	√		Design, Estimation and Construction Process
BIM	√	√	√	Design, Estimation, Construction Process, Building Life Cycle, Performance and Technology

Tabla 3: Análisis del desarrollo de BIM (Latiffi, A. A., Brahim, J., & Fathi, M. S.; 2014).

Hasta 2005, se había definido como el desarrollo y uso de software informático para simular la construcción y el funcionamiento de una instalación. BIM se utiliza como una herramienta para controlar la información, así como la organización, los trabajos y los procesos que se necesitan en las etapas de planificación, diseño, construcción, mantenimiento y demolición.

En 2006, *BIM* se definió como una nueva metodología para gestionar y aumentar el rendimiento de *AEC* en la realización y gestión de los proyectos. En 2008, el *BIM* fue adaptado como una simulación de proyecto que consistió en un modelo tridimensional (3D) de un componente del proyecto. Se vinculó e integró con la información requerida a lo largo de las fases del proyecto.

De 2008 hasta 2013, *BIM* se amplió como una revolución tecnológica que ayudó a transformar la forma en que los edificios fueron concebidos, diseñados, construidos y operados. La adopción del concepto de *BIM* se trató como un cambio de paradigma para la industria *AEC* que ayudó a lograr la eficiencia y la eficacia en los proyectos de construcción. Fue un conjunto de herramientas digitales que ayudaron a la industria *AEC* a gestionar proyectos de construcción mejorando el proceso de planificación, diseño, construcción y operación de la instalación.

BIM también se considera como una nueva manera de abordar el diseño y la gestión documental, ayudando a la colaboración de los actores de la construcción para insertar, extraer, actualizar o modificar la información de la instalación. Hasta la fecha, *BIM* es considerado como un conjunto de herramientas de gestión de diseño que ofrece ventajas a través de las fases del proyecto de construcción.

2.3.2. DESCRIPCIÓN DEL REFERENTE

Según una publicación en BiBlus.accasoftware.com, en el sector de la Arquitectura, Ingeniería y Construcción; Reino Unido representa uno de los más altos exponentes europeos en cuanto al uso y propagación de procesos *BIM*:

Si tras la Primera Guerra Mundial los británicos fueron los pioneros en la industrialización, en los años anteriores al presente siglo fueron más allá con la idea de cómo usar la tecnología en la industria de la construcción para rentabilizarla. Asimismo, el gobierno entendió la brutal ventaja de esta innovación digital que está basada en la optimización de procesos, recursos económicos y fases; la sincronización y la previsión de errores relacionados con todo el proceso constructivo, desde la comunicación en fase de proyecto hasta problemas no pronosticados anteriormente a su aparición en obra.

A partir de 2002, el Departamento de Comercio e Industria de Gran Bretaña ha fomentado el empleo de softwares CAD 2D y 3D y, en 2010, un programa informático llamado *Digital Built Britain* orientó el sector de la construcción un poco más hacia el *BIM*; más aún, en 2011, cuando se precisaron los "Niveles de madurez" (*Ilustración 4*) por el *BIM Task Group*:

- Nivel 0: CAD 2D.
- Nivel 1: CAD 2D/3D.
- Nivel 2: BIM en diseño y construcción.
- Nivel 3: BIM para gestión completa del ciclo de vida de un edificio.

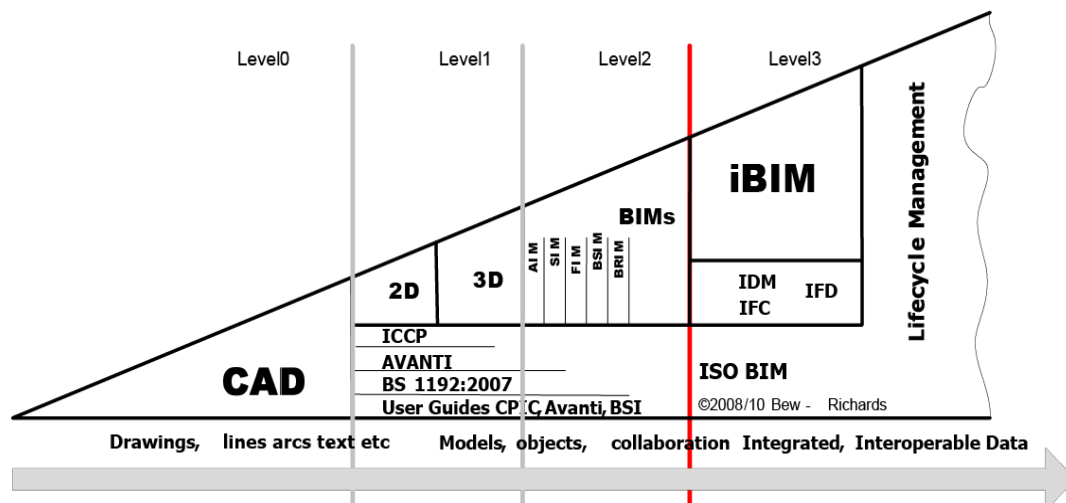


Ilustración 4: Niveles de madurez BIM (Bew-Richards, 2008). Fuente: blog.instop.es (2018).

Esta táctica británica ha permitido a través de los programas de “Digital Built Britain” la consecución del uso de *BIM* a nivel 2 (2016) en diseño y ejecución de obras públicas (obligatorio por ley), y plantear para un futuro próximo establecer definitivamente el nivel 3.

El objetivo del gobierno es reducir los costes de la fase inicial del ciclo de vida en un 33% y conseguir un 50% de reducción del tiempo transcurrido desde el inicio a la finalización, bajar las emisiones un 50% y reducir un 50% la diferencia existente entre las exportaciones totales y las importaciones totales de materiales de construcción.

La revolución digital del Reino Unido viene apoyada por el gobierno aplicando la legislación al sector desde 2011, que fomenta la utilización del modelado en *BIM* en proyectos públicos y grandes infraestructuras. Además, ha generado interiormente una difusión de los procesos *BIM* en las empresas británicas, que cada vez hacen inversiones más generosas en cuanto a la formación de técnicos especializados en *BIM* y el uso del mismo en proyectos privados.

Carbonari, G., Ashworth, S. y Stravoravdis, S. (2015) señalan que:

El valor añadido bruto de la industria de la construcción en la economía de UK en 2012 fue de 83 mil millones de libras, el 6% del total de la economía del país, con más de 2,12 millones de trabajadores empleados en el cuarto trimestre de 2013. A pesar de que la industria sufrió dos contracciones durante la última recesión, se estima que el sector de la construcción crecerá globalmente por encima de 70% en 2025.

Con un aumento en las compañías que utilizan *BIM*, abundantes sucesos de estudio están ahora disponibles para aconsejar su uso por la multitud de beneficios durante el diseño y la construcción, exhibiendo un importante potencial en el descifrado de dilemas cuando se relaciona con el CAD 2D y 3D.

2.3.3. BASES DEL BIM

Según es.BIM (2016):

“BIM (*Building Information Modeling*) es una metodología de trabajo colaborativa para la gestión de proyectos de edificación u obra civil a través de una maqueta digital. Esta maqueta digital conforma una gran base de datos que permite gestionar los elementos que forman parte de la infraestructura durante todo el ciclo de vida de la misma; reduciendo costes al tiempo que permite a proyectistas, constructores y demás agentes implicados trabajar de forma colaborativa.”

En cuanto a la elaboración con el procedimiento tradicional, el proyecto básico es enviado a las diferentes disciplinas que elaboran cálculos de estructuras, instalaciones, etc; lo que genera repetidamente interferencia entre planos y errores de interpretación en los realizados por otra persona. Esta ineficiencia de proyecto será traducida en fase de ejecución a contratiempos inesperados, aumento de costes y tiempos, pérdida de calidad en lo ejecutado... Sin embargo, *BIM* posibilita que todos los intervinientes trabajen de manera simultánea sobre un modelo virtual con información ordenada y sincronizada, donde las variaciones en uno de los archivos se actualizan de igual manera en los demás, evitando los problemas típicos del trabajo sobre planos y la necesidad de cambiarlos uno a uno.

Así es como la metodología propone una mejor optimización en la vida útil de un edificio, empleando más tiempo y recursos en la fase de diseño, lo cual repercutirá posteriormente a la hora de su construcción en mayor calidad, y menor tiempo y costes, como puede interpretarse en la curva de MacLeamy (*Ilustración 5*).

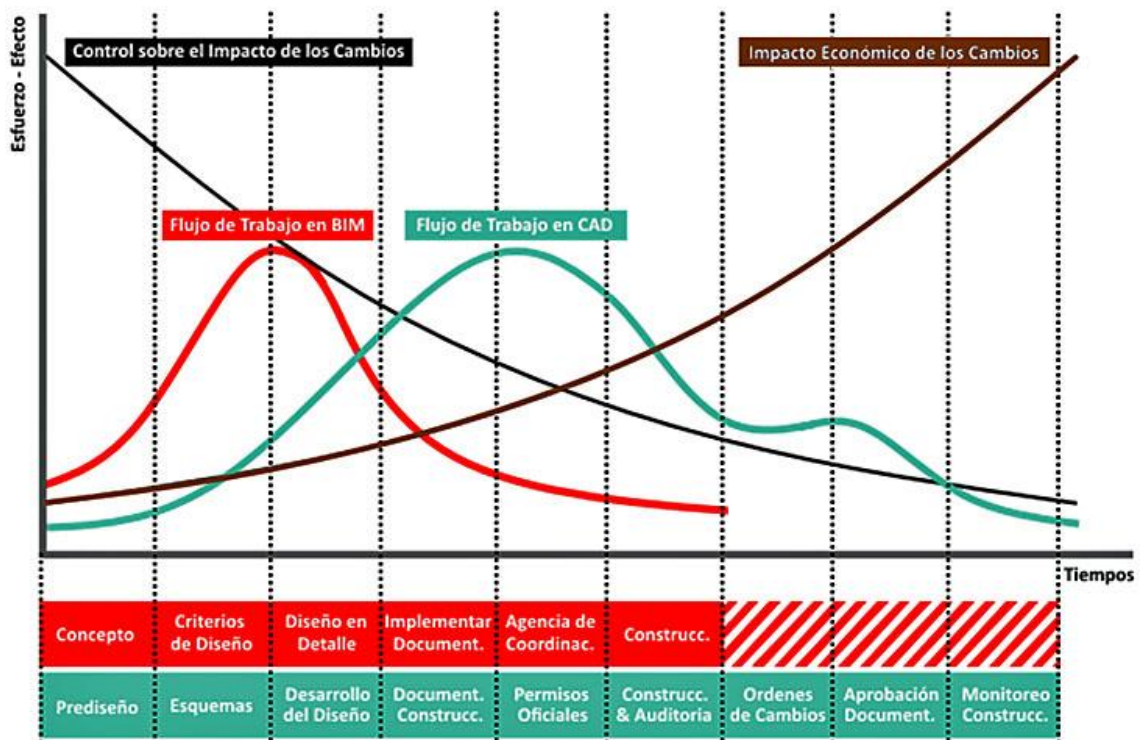


Ilustración 5: Curva de MacLeamy (Patrick MacLeamy, 2004). Fuente: esmartcity.es (2016).

Además de esto, la explotación del edificio también es una de las aplicaciones de *BIM*, pues permite interactuar con el modelo una vez esté construido el edificio para su interpretación y modificación, como por ejemplo para una mejora energética o para un plan de mantenimiento.

En definitiva, el proceso colaborativo implementado con *BIM* podría resumirse en las siguientes ventajas:

- **Trabajo multidisciplinar y colaborativo:** compartiendo y verificando datos en tiempo real uniendo desarrollo, gestión y modelado en el mismo espacio.
- **Diseño constructivo:** donde los elementos constructivos de la maqueta virtual contemplan los detalles, parámetros y materiales que en obra han de reproducirse.
- **Trabajo eficiente:** los cambios realizados en un archivo serán actualizados en los demás, interlazando trabajo 2D y 3D.
- **Disminución de riesgos:** la herramienta hace posible la previsión de errores entre los distintos elementos y eludirlos en la construcción física.
- **Transparencia:** la consulta en tiempo real por los intervinientes y la comunicación bidireccional produce mayor exactitud en el proyecto.
- **Satisfacción del cliente:** la representación gráfica de alta calidad que son capaces de realizar los softwares genera una buena expectativa y visión del proyecto.
- **Utilización** en fase de explotación para **futuras intervenciones.**
- **Mejora** de calidad, disminución de costes y acortamiento de plazos.

- **USOS**

Conseguir con éxito la información procedente del modelado necesita de una organización y programación del proceso a seguir por parte del equipo de trabajo, reconociendo las áreas en las que se implantará la herramienta, los determinados usos y el nivel de exigencia.

Esta planificación es lo que se conoce en el ámbito como "*BIM Execution Plan*" (*BEP*). Según *Pennsylvania State University* (2010), un *Plan de Ejecución BIM* es un documento que asegura que todas las partes y/o participantes de un proyecto en cualquiera de sus etapas estén claramente conscientes de las oportunidades y responsabilidades asociadas a la incorporación de *BIM* en el flujo de trabajo del proyecto.

En "*BIM project execution planning guide*" (*Alliance, B.*; 2011) se describe cuál debe ser el procedimiento en cuatro fases para obtener un buen *BEP*: Identificar objetivos y usos, diseñar el proceso de ejecución, definir los entregables, e identificar la infraestructura de apoyo. Aunque de ser bien interesante el realizar o contemplar los pasos necesarios para la realización de un *BIM Execution Plan*, no es la finalidad. No obstante, los usos *BIM* (*Ilustración 6*) que puede proporcionarnos son objeto de estudio en este trabajo:

PLANEACION	DISEÑO	CONSTRUCCION	OPERACION
Modelado de Condiciones Existentes			
Estimacion de Costos			
Planeacion de Fases			
Programaciones de obra			
Análisis del Sitio			
	Revisiones de diseño		
	Autoria de Diseño		
	Análisis Estructural		
	Análisis Iluminacion		
	Análisis Energeticos		
	Análisis Mecanicos		
	Otros Analisis Ingenieria		
	Evaluacion LEED		
	Validacion de Codigos		
	Coordinacion 3D		
	Planeacion en Sitio		
	Diseño Sistemas Constructivos		
	Fabricacion Digital		
	Planeacion y Control 3D		
	Modelos Record		
	Admin Mantenimiento		
	Análisis Sistemas Edificio		
	Gestion de Activos		
	Admin Espacios		
	Planeacion de Desastres		

Usos BIM Primarios
 Usos BIM Secundarios
Adaptado de <http://bim.psu.edu/Uses/>

Ilustración 6: Usos BIM durante el ciclo de vida del edificio (Penn State BIM Project Execution Planning Guide, 2010).

En esta ilustración podemos ver los usos característicos de la metodología *BIM* desde su inicial planificación de la viabilidad del proyecto, hasta la fase de uso del propio edificio del proyecto, pasando por su diseño y construcción físico.

En el presente trabajo se aplicará la gestión de calidad a aquellos usos intervinientes en la confección del modelado por parte del equipo de trabajo, no siendo el caso de, por ejemplo, programaciones de obra (que, si bien es un uso útil, no se realiza sobre el modelo sino que puede nutrirse de la buena realización del mismo). Por lo tanto, nos centraremos en aquellos que van ligados al modelado, ya sea para su diseño, control o coordinación:

- Modelado de las condiciones existentes: crea una maqueta virtual 3D del entorno con sus parámetros y características (terreno, edificios...).
- Diseño de autor: se desarrolla el modelo *BIM* en función de los objetivos y el diseño aprobado por el cliente.
- Coordinación 3D: ayuda a la coordinación entre las distintas disciplinas que intervienen en el proyecto del edificio (arquitectura, estructuras, instalaciones...) con el fin de evitar discrepancias y fallos constructivos sobre el modelo.

- Planificación y control 3D: este uso examina que los elementos constructivos, a partir de los cuales se ha generado el modelado del edificio en softwares, están bien posicionados y no hay interferencia o colisiones entre ellos.
- Modelado: el edificio completo tal y como se ha construido se representa con toda la información utilizada en el proyecto para su posible utilización posterior.
- Otros usos que están indirectamente relacionados de la función de modelado: planificación de fases, revisión de diseño, análisis energético, diseño de sistemas constructivos, y análisis sistemático del edificio.

● **NIVELES DE DESARROLLO**

En el desarrollo de un proyecto en *BIM*, es necesario definir el grado o escala en cuanto a modelado e información, tanto en calidad como cantidad.

En referencia al documento “Exploring Level of Development (LOD) in Construction Projects” (Aryani Ahmad Latiffi, Juliana Brahim, Suzila Mohd, Mohamad Syazli Fathi; 2015):

El término fue invención de la *AIA (American Institute of Architects)* para permitir a los agentes de la *AEC* articular, con un alto nivel de contenido claro y fiable, los modelos 3D en varias fases.

Como indican los referenciados autores, LOD es el grado en que la geometría del elemento y la información relacionada con sus componentes han sido establecidos por los desarrolladores al utilizar el modelo, definiendo un grado en el que los miembros del equipo de proyecto se basarían para construir la maqueta. Además, es necesario diferenciar la cantidad de información de los elementos constructivos constituidos para fijar un uso a cada nivel y permitir a los intervinientes comprender claramente la finalidad y limitación del modelo que reciban.



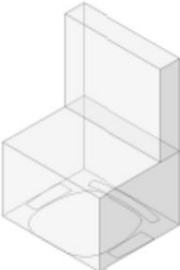


LOD 100	LOD 200	LOD 300	LOD 400	LOD 500
				
Concept (Presentation)	Design Development	Documentation	Construction	Facilities Management
DESCRIPTION: Office Chair Arms, Wheels WIDTH: 700 DEPTH: 450 HEIGHT: 1100 MANUFACTURER: Herman Miller, Inc. MODEL: Mirra LOD: 100	DESCRIPTION: Office Chair Arms, Wheels WIDTH: 700 DEPTH: 450 HEIGHT: 1100 MANUFACTURER: Herman Miller, Inc. MODEL: Mirra LOD: 200	DESCRIPTION: Office Chair Arms, Wheels WIDTH: 700 DEPTH: 450 HEIGHT: 1100 MANUFACTURER: Herman Miller, Inc. MODEL: Mirra LOD: 300	DESCRIPTION: Office Chair Arms, Wheels WIDTH: 685 DEPTH: 430 HEIGHT: 1085 MANUFACTURER: Herman Miller, Inc MODEL: Mirra LOD: 400	DESCRIPTION: Office Chair Arms, Wheels WIDTH: 685 DEPTH: 430 HEIGHT: 1085 MANUFACTURER: Herman Miller, Inc MODEL: Mirra PURCHASE DATE: 01/02/2013

Ilustración 7: Level of Development (PracticalBIM, 2013). Fuente: practicalbim.blogspot.com

Basándonos en la *Ilustración 7*, cada nivel representa requisitos de contenido específicos, tanto su uso particular como el propósito específico del modelo.

- LOD 100: es un nivel conceptual, representando los elementos mediante un símbolo de poca información. Generalmente se utiliza para la planificación previa del proyecto, estudios de viabilidad y estimación de costes básicos.
- LOD 200: a la información anterior se le suman otros parámetros como el ancho, profundidad, altura y fabricante. Este nivel es un desarrollo de diseño que se representan como sistemas genéricos que tienen en cuenta la cantidad, tamaño, forma, ubicación y orientación. En definitiva, tiene su uso para el análisis de los elementos que se utilizarán en el modelado.
- LOD 300: este nivel de desarrollo está en la documentación de un producto. Cuenta con información no gráfica, estimación y programación. Es un nivel más preciso en lo referente a cantidad, tamaño, forma, ubicación y orientación. Es previo a un nivel de construcción de elementos.
- LOD 400: Se simultánea con la construcción del edificio y es el más adecuado para fabricantes y contratistas, debido a que los elementos en este nivel se representan como un sistema específico que consiste en detallar información de la orientación, fabricación e instalación.
- LOD 500: es el modelo de representación que se identifica con el proceso de construcción finalizado "as built" y contiene toda la información necesaria para las gestiones de mantenimiento, instalaciones, etc. Podría considerarse como una la digitalización totalmente precisa de un edificio terminado.

2.4. PLAN DE GESTIÓN DE LA CALIDAD

Tal y como se ha orientado preliminarmente, la calidad en el desarrollo del proyecto es una de las principales características de la dirección de proyectos y una de los elementos facilitatorios de utilizar la herramienta *BIM*, lo cual repercute directamente en la calidad del proyecto ejecutado.

A continuación, se plantea una guía útil en el buen ejercicio de las actividades profesionales que tengan relación con el uso de modelado en *BIM*, teniendo como fin la producción de un servicio acorde a los requerimientos y objetivos de cada proyecto y a las necesidades que debe cubrir la funcionalidad cada LOD. El producto final tenderá a ser más preciso, generando buenas expectativas en clientes, siendo una herramienta útil, eficaz y con mínimos errores para los intervinientes en la ejecución, y en las fases posteriores de explotación y mantenimiento del edificio ya construido.

Cabe destacar como introducción una serie de conceptos clave y directrices en los que se fundamentará el plan:

- La prioridad es la prevención, antes que la inspección. Es favorable la detección de errores durante el proceso a que estos lleguen al cliente y tengan que ser corregidos, lo que implica retrabajo, más costos, tiempo, etc.
- La satisfacción del cliente es uno de los objetivos principales y se consigue cumpliendo tanto los requisitos que este impone, como las necesidades por las que se encarga el trabajo, es decir, que sea adecuado para su uso.
- La mejora continua como aspecto fundamental del proceso a partir de los errores y soluciones que se vayan presentando.
- Nivel de Gestión de la Calidad en planificación y diseño, con responsabilidad por parte de todos los integrantes del equipo.

2.4.1. GRUPOS DE PROCESOS

En base a la *Tabla 2*, donde ordenamos los procesos por los cuales se regían cada área de conocimiento, la gestión de la calidad se organiza en los grupos de procesos de: Planificación, Ejecución, y Monitoreo y Control.

En el **apartado 2.2.3.** se explicaba el funcionamiento del PMBOK a partir del cual las salidas de un proceso son las entradas del siguiente. En el caso de implantarse la guía propuesta en una organización enfocada a la dirección de proyectos, gran parte de las entradas que necesitamos en los procesos de Planificación, serán obtenidas como salidas de otros procesos. No obstante, esta guía facilitará el procedimiento para que la gestión de la calidad no suponga un problema mayor para estudios o empresas que no tengan una estructura profesional basada en Project Management y tengan la capacidad de conseguir las entradas necesarias y, de este modo, los objetivos de la gestión de calidad.

En este caso, aunque como proyecto exista un final determinado teniendo como acción la construcción del edificio, este hereda de *BIM* un modelo “as built” que necesitará asimismo una gestión de la calidad para aquellos que lo utilicen en su fase de explotación y mantenimiento.

2.4.2. PROCESOS

Seguidamente en la *Ilustración 8*, se plantean los procesos necesarios para la buena práctica de la Gestión de la Calidad. Es necesario que cada proceso se aplique no solo de la forma correcta sino también en el momento adecuado, y para ello, se expondrán a partir de las fases de trabajo que propone la metodología *BIM* a lo largo del ciclo de vida de un edificio según los “LODs”. Pese a que el procedimiento conveniente para una confección satisfactoria de la calidad es repetitivo, cada “LOD” presenta peculiaridades particulares y que, al pertenecer a momentos diferentes en la ejecución de un proyecto, estarán enfocados a distintos requerimientos de funcionalidad.

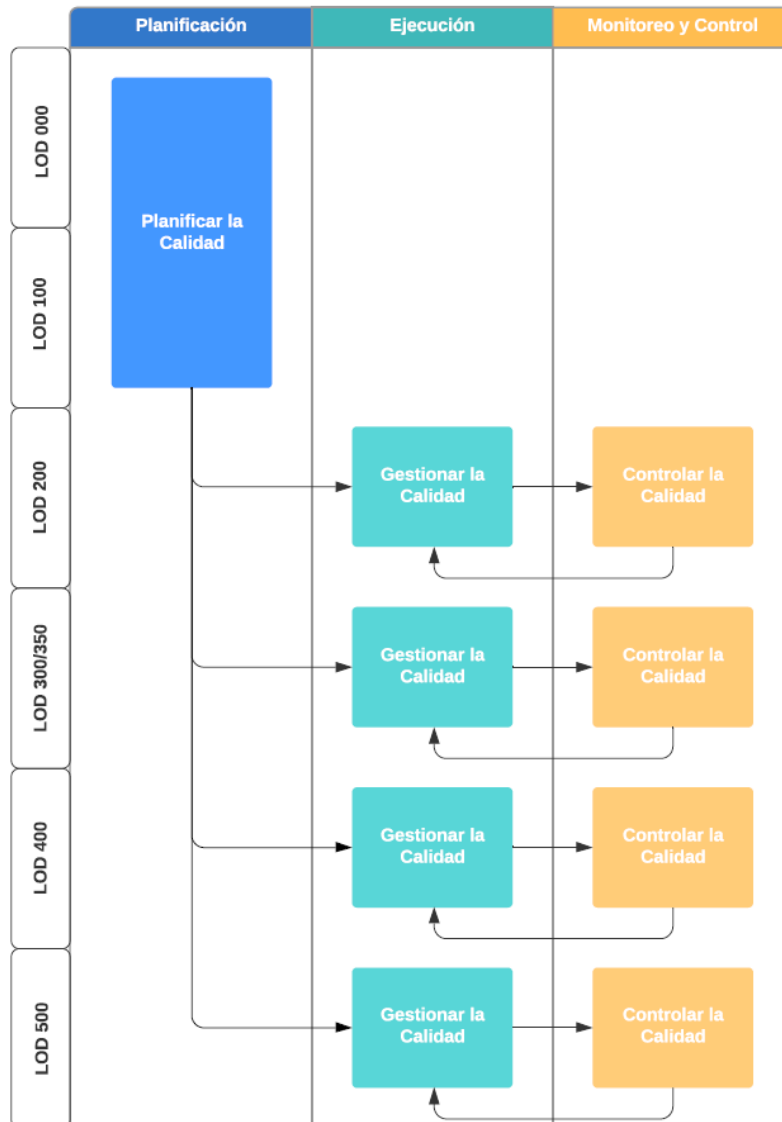


Ilustración 8: Esquema general procesos (Elaboración propia).

El esquema es una representación de los procesos fundamentales a tener en cuenta para la Guía de Gestión de Calidad que se pretende desarrollar.

2.4.3. LOD 000

Aunque este nivel de desarrollo no exista como tal, sí que se identifica como el punto de partida en el cual se establecen los primeros criterios para la formación del proyecto.

- **PLANIFICAR LA CALIDAD**

En este LOD se ubicará únicamente el proceso de Planificar la Calidad, cuyas misiones son:

- Identificar los requisitos y estándares de calidad base del proyecto y sus entregables, sobre los que se registrarán los demás procesos.
- Documentar como se demostrará el cumplimiento de los mismos.

ENTRADAS:

Para la identificación de requisitos y estándares de calidad, y la estrategia de la documentación del proceso es necesario conocer varios aspectos relativos al propio proyecto que tendrán que ser considerados como “entradas” para el proceso.

A) “Level of Development Specification”.

Aunque los modeladores del equipo de trabajo deben tener los conocimientos necesarios en virtud de la titulación, se considerará entrada el documento “Level of Development Specification v.2019” (BIM Forum, 2019). La metodología *BIM* tiene sus requerimientos específicos y deben considerarse como requisitos, con el fin de que los entregables cumplan las especificaciones del método y adquieran la funcionalidad para la que cada nivel de desarrollo está previsto.

B) Información General del proyecto.

Como primer objeto de estudio tenemos todo lo relativo a la constitución del proyecto, lo cual nos asegurará un conocimiento de toda la información general del proyecto, los objetivos, entregables, involucrados, roles y responsabilidades:

- Propósito y objetivos, junto con los criterios de éxito asociados por los cuales se medirán.
- Requisitos de alta importancia.
- Entregables fundamentales.
- Cronograma de hitos generales.
- Requisitos de aprobación: qué será necesario para que el trabajo realizado sea legitimado, quién los decide, y quién lo aprueba. Será importante para tener claro con quién discutir o contrastar en entrevistas y reuniones estos términos.
- Criterios de salida del proyecto: condicionantes u objetivos sobre los cuales se cerrará una fase para pasar a la siguiente o para su cancelación.
- Project Manager o Director del Proyecto: quién es, que responsabilidad desempeña y el nivel de autoridad.
- Promotor del proyecto: quién es y qué nivel de autoridad dispone.

C) Requisitos del proyecto.

Lo siguiente será hacer una indagación en los requisitos. Esta entrada ampliará lo anterior y será relevante para introducir en el plan unos estándares de calidad acordes a los intereses del proyecto:

- Priorización de requisitos. Dentro de los requisitos del proyecto es relevante saber la prioridad de cada uno, pues en caso de riesgos (económicos, cronológicos...) orientar el trabajo en el/los primordiales.
- Métricas y utilización. Las métricas son estándares sobre los cuales serán comparados los entregables para determinar si los requisitos son cubiertos o no.
- Atributos, características e información particulares de los requisitos.

D) Alcance del proyecto.

Otra entrada a tener en cuenta para la planificación del proceso será el alcance del proyecto, que al igual que la anterior amplificará la información general del proyecto. Fundamentalmente se basará en:

- Enunciado del alcance: describe con detalle el propio alcance (características del resultado al que se pretende llegar), los entregables necesarios y sus criterios de aceptación, los supuestos que se propongan en esta fase, y las restricciones y límites del proyecto (aquello que queda excluido para evitar desviaciones en el alcance).
- Descripción jerárquica del alcance (EDT/WBS): pasos ordenados del alcance total del trabajo que tendrá que hacer el equipo para satisfacer los objetivos y generar los entregables descritos del enunciado. Básicamente, como vemos en la *Ilustración 9*, funciona como una secuencia de fases que sigue el proyecto durante su ejecución y genera una comprensión por parte del equipo, que atenderá a ella como una guía sobre la cual establecer la planificación del trabajo a desarrollar.

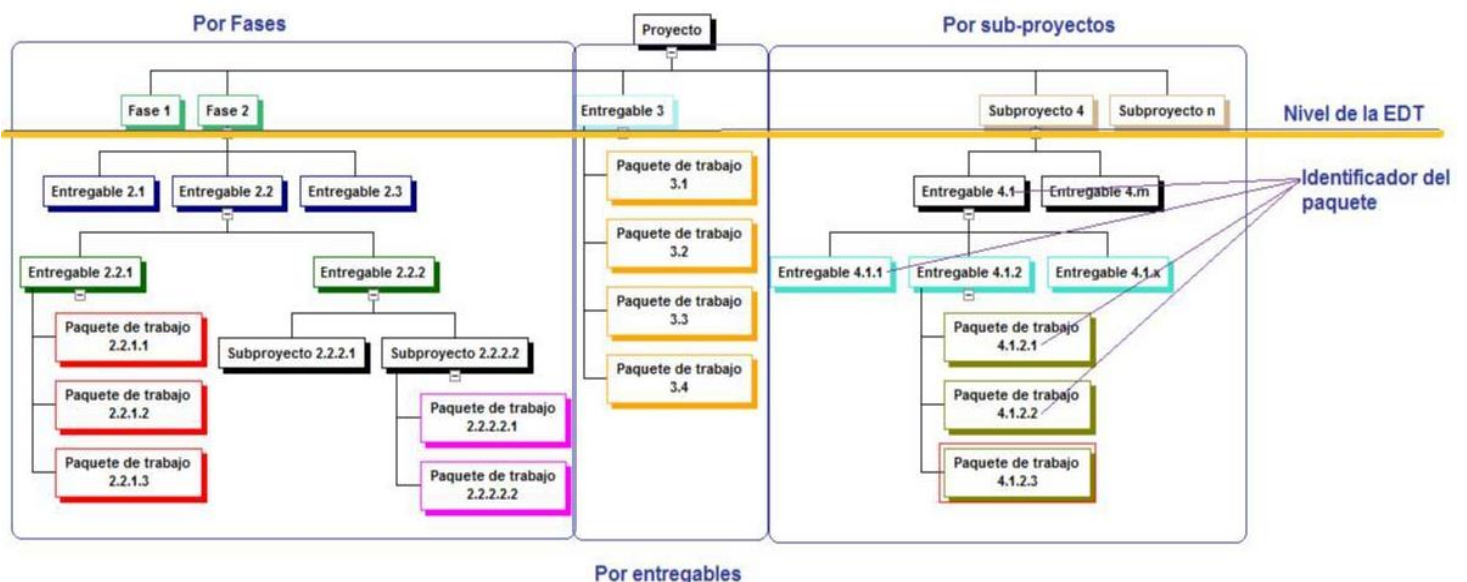


Ilustración 9: Ejemplo EDT (YEPES, V.; MARTÍ, J.V.; GONZÁLEZ-VIDOSA, F.; ALCALÁ, J.; 2012).

E) Documentos de registro.

Es conveniente generar algunos documentos anexos para su registro, que a medida que avance el proyecto, se irán monitoreando y actualizando:

- Registro de supuestos: en esta fase, cuando el proyecto no está conformado, lo normal es que existan suposiciones o discrepancias acerca de cuestiones que aún no pueden determinarse. El registro de supuestos se realiza para documentarlos y tenerlos en cuenta cuando llegue la hora de acometerlos.
- Registro de requisitos: igualmente, los requisitos pueden estimarse en principio en un alto rango. Su registro será fundamental para su seguimiento y actualización a medida que se va conociendo más información acerca de ellos hasta que sean medibles y comprobables, en función de los cuales se planificará el planteamiento del proceso controlar la calidad.
- Matriz de trazabilidad de requisitos: la realización de este documento relaciona los requisitos con los objetivos del proyecto y los entregables, y ayuda a garantizar que cada requisito del registro de requisitos conlleve un seguimiento y sea probado. Se puede decir que es un buen complemento al registro de requisitos, pues lo vincula con otros documentos del proyecto.

MATRIZ DE TRAZABILIDAD DE REQUISITOS						
Proyecto:						
Descripción:						
Registro		Descripción de los Requisitos	Necesidades	Objetivos del Proyecto	Entregables EDT	Pruebas
ID	ID Asociado					
001	1.0					
001	1.1					
001	1.2					
002	2.0					
002	2.1					
002	2.1.1					
003	3.0					
003	3.1					
003	3.2					
004	4.0					
004	4.0.1					
005	5.0					

Tabla 4: Ejemplo Matriz de Trazabilidad de Requisitos (Elaboración propia).

En la *Tabla 4* aparecen algunos de los atributos que podemos asociar a los requisitos, aunque también se pueden vincular otros como el responsable, la prioridad, el estado actual (vigente, cancelado, completado...), etc.

F) Activos del proceso.

Como entrada también pueden servir plantillas de calidad, hojas de verificación y otras matrices de trazabilidad que estén estandarizadas y comunes para todo el equipo. Incluso también es recomendable disponer de bases de datos y registro de lecciones aprendidas para que los integrantes puedan obtener información acerca de cuestiones del proceso.

HERRAMIENTAS Y TÉCNICAS:

El proceso de Planificar la Calidad se ayuda en una serie de herramientas y técnicas de las que obtener las entradas necesarias y generar las correspondientes salidas. En general se trata de la captación y organización de datos para su planificación, dando lugar a las salidas que harán de entradas a los procesos posteriores.

A) Recopilar datos.

- Comparativas: atender a prácticas reales llevadas a cabo o planificaciones de otros proyectos puede conducirnos a tener una mera orientación e identificar mejoras.
- Entrevistas: los aspectos relevantes que afecten a la calidad del modelo se pueden identificar en entrevistas con el Project Manager (si hubiere), que es la persona que tiene relación con todos los interesados e intervinientes del proyecto. En caso de no existir esa figura, sería necesario concertar un mayor número de entrevistas, con promotor e interesados.

B) Analizar datos.

- Rentabilidad: pretende encontrar las mejores alternativas en función de los beneficios que ofrecen. Hay que apuntar a aquello que haga rentable la calidad, esos beneficios parten de: menos retrabajo, mayor productividad, menores costos y mayor satisfacción del cliente.
- Coste óptimo: durante la Gestión de la Calidad existen costos de prevención destinados a evitar defectos, costos de evaluación para detectar los defectos, y costos de no conformidad en los que el producto o entregable es directamente rechazado para su corrección. La búsqueda del coste óptimo es esencial, siendo aquel en el que los costes de prevención y evaluación, destinados a encontrar la conformidad del cliente, eviten los costes de no conformidad.

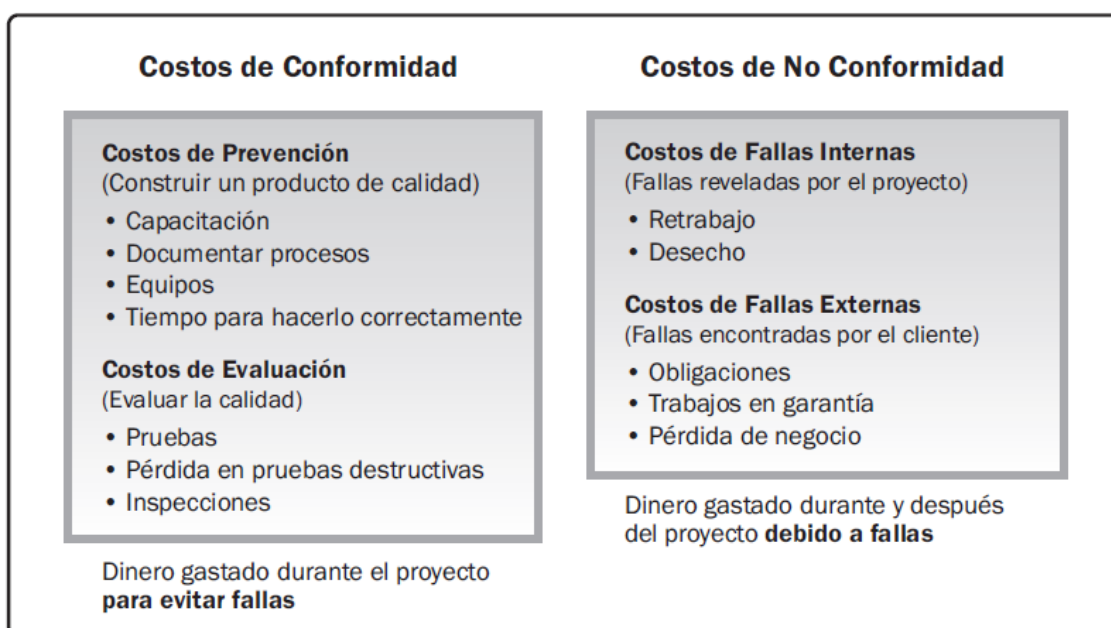


Ilustración 10: Relación de costes de la calidad (Project Management Institute, 2013). Fuente: Guía del PMBOK.

C) Toma de decisiones.

- Análisis con múltiples criterios: tras tener en mano las posibles alternativas de trabajo más rentables (aquellas que acaparen un mayor número de requisitos en menos trabajo, con una mejor organización del tiempo, que sean capaces de satisfacer las expectativas...) y un coste óptimo bastante aproximado, la mejor manera de tomar decisiones acertadas es analizándolas con múltiples criterios. La matriz de priorización es una tabla donde se establecen determinados criterios a los que se les asigna un peso, obteniendo un peso total para cada alternativa y se clasifican estas según la puntuación resultante.

MATRIZ DE PRIORIZACIÓN							
Paquete trabajo 2.2	CRITERIOS						TOTAL
ALTERNATIVAS	Apoyo PM/cliente Hasta 20	Rentabilidad Hasta 20	Coste óptimo Hasta 20	Viabilidad tiempo Hasta 15	Viabilidad Técnica Hasta 10	...	
LOD 300, G0	2	12	20	15	10		59
LOD 300, G1	8	15	15	14	10		62
LOD 300, G2	16	16	13	12	10		67
LOD 300, G3	20	10	8	9	8		55

Ilustración 11: Ejemplo matriz de priorización para toma de decisiones (Elaboración propia).

Este ejemplo de la *Ilustración 11* plantea las diferentes alternativas de modelado para el paquete de trabajo 2.2 en un LOD 300. Cada una de ellas es valorada con respecto a los criterios establecidos, a los cuales se les ha asignado un valor diferente en base a la importancia. En este caso, la solución prioritaria sería realizar dicho paquete de trabajo en LOD 300, con nivel de detalle G2: tiene un apoyo del Project Manager o Promotor importante, lo cual concuerda con la rentabilidad, un coste óptimo ajustado para evitar no conformidades (aunque aceptable), asequible con respecto al cronograma del proyecto y perfectamente viable teniendo en cuenta la experiencia de los modeladores y la capacidad de los softwares en disposición.

D) Representar datos.

Primordial en el proceso de Planificar de Calidad es la organización y planificación de todos los datos acontecidos hasta el momento, dándoles una secuencia lógica acorde al procedimiento que pretende planificarse.

-Diagramas de flujo: como vemos en la *Ilustración 12*, se trata de una secuencia de pasos y ramas del proceso dando lugar a una o más salidas, a partir de una o más entradas. La funcionalidad es tener un esquema del proceso para realizar su seguimiento, encontrar mejoras en el mismo, reconocer puntos frágiles donde los errores pueden surgir e identificar donde se implementarán los controles y verificaciones de calidad.

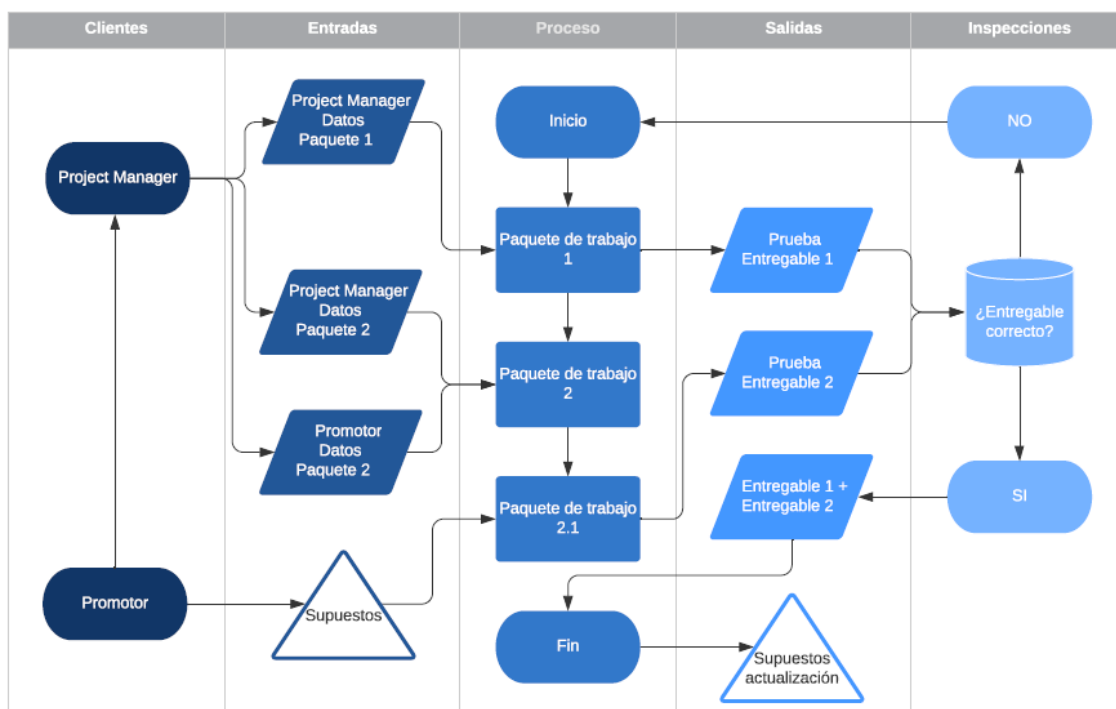


Ilustración 12: Ejemplo diagrama de flujo (Elaboración propia).

E) Planificar pruebas e inspecciones.

La determinación de pruebas e inspecciones ha de planificarse para testear los entregables antes de que estos pasen al cliente, para así evitar que los errores sean detectados por este y se genere una situación de disconformidad. La exactitud con la que cada miembro del equipo trabaje será vocación y responsabilidad de cada uno, no obstante, el BIM Manager establecerá las comprobaciones, pruebas e inspecciones que crea oportunas en el momento y frecuencia adecuados para ello, reflejándolo en los diagramas de flujo ya comentados.

F) Reuniones.

Las reuniones son la herramienta fundamental para que el proceso genere sus frutos. Para la obtención de todos los datos que conforman las entradas, serán necesarias reuniones con el Project Manager, pues es la figura que tiene contacto directo con el promotor y demás interesados del proyecto. También, reuniones internas del equipo de modelado *BIM* para, a partir de las entradas y herramientas, concluir las salidas de este proceso.

Claramente, la comunicación entre los integrantes del proyecto es una de los beneficios de la metodología *BIM*. A través de la plataforma virtual se adquiere un proceso colaborativo donde las figuras intervinientes intercambian datos e información para el avance conjunto y óptimo. En este entorno, será el BIM Manager el encargado de la gestión del medio colaborativo, adquiere relación directa con el Project Manager e intercambia información con el resto de figuras.

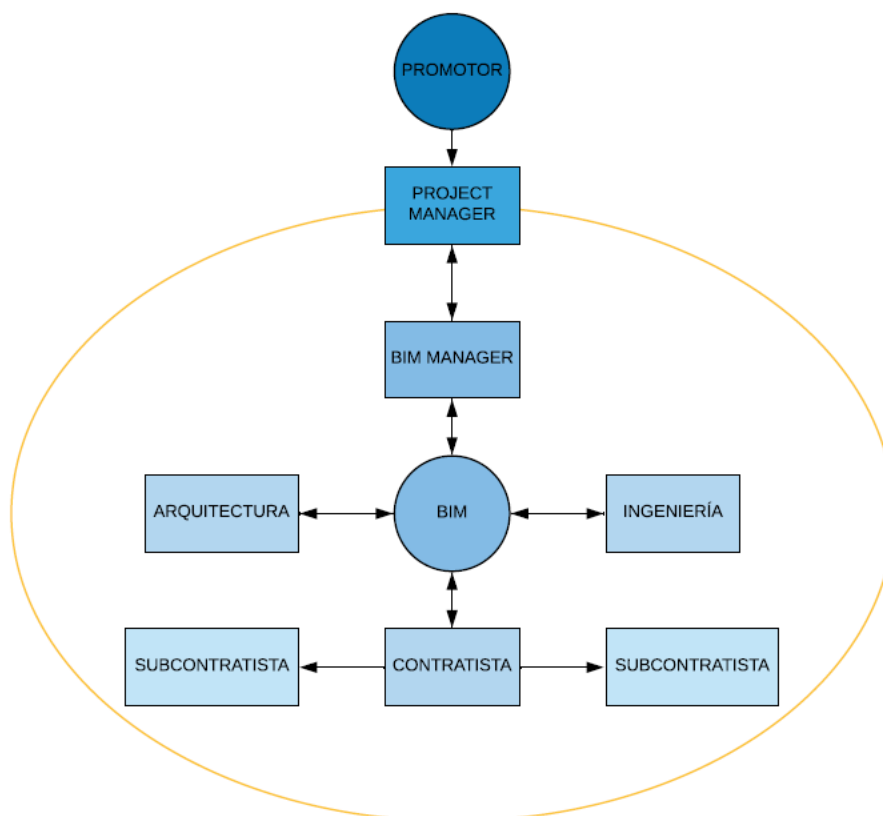


Ilustración 13: Organización de figuras con metodología BIM (Elaboración propia).

SALIDAS:

El fin este proceso es plasmar una base sólida para gestionar la calidad en función del proyecto. Con las entradas nos hemos situado en las características del propio proyecto y, junto con las herramientas, se propone generar:

A) Pre-Plan de Gestión de la Calidad.

El Plan de Gestión de la Calidad es el conjunto de procedimientos y pautas a seguir para la consecución de los objetivos de calidad planteados. El nivel de detalle de este depende de los requerimientos del proyecto ya analizados.

Se compone de:

- Estándares de calidad: se definen en base a los objetivos de calidad del proyecto, es decir, según el nivel de detalle que el cliente y el proyecto soliciten al producto del modelado.
- Objetivos de calidad: describe las características y el nivel de precisión con el que los entregables deben estar definidos.

- Fases, paquetes de trabajo y/o entregables sujetos a revisión: deben quedar definidos en los diagramas de flujo.
- Actividades de gestión y de control de la calidad previstas en los procesos correspondientes.
- Herramientas a utilizar: por ejemplo, softwares de detección de colisiones y conflictos BIM.
- Roles y responsabilidades: todo el proceso ha de quedar dispuesto con los roles y responsabilidades de los intervinientes del equipo en cuanto a calidad, para que las actividades destinadas a la gestión y calidad no solo estén planteadas, sino con un futuro responsable que realice la evaluación de un entregable, por ejemplo.
- Procedimientos: reflejados con la representación de datos con diagramas de flujo, que aborden las pautas ejecutables para acometer acciones preventivas, correctivas, la no conformidad...

Conviene realizar más adelante, en una etapa temprana del proyecto, una revisión del plan para confirmar que los procedimientos se fundamentan en informaciones exactas, ya que en este momento del proyecto existen determinados supuestos que no son información precisa. Esta revisión la haremos en LOD 100 y conllevaría una visión más clara del propósito del proyecto y del método para cumplir los objetivos, reducción de retrasos por retrabajo y su consecuente minimización de costes.

B) Métricas de calidad.

Las métricas de calidad se establecen para definir específicamente un atributo del proyecto, sobre las que posteriormente se evaluarán los procedimientos y entregables para su cumplimiento.

- Porcentaje de tareas completadas a tiempo.
- Número de defectos identificados.
- Porcentaje de requisitos cubiertos.
- Puntuación de satisfacción de los clientes.

CONCLUSIONES:

Si el equipo que desarrolla el modelado pertenece a una organización enfocada a la dirección de proyectos, las entradas correspondientes para la Guía de Gestión de la Calidad en LODs 000 y 100, donde se realiza el proceso de Planificar la Calidad, vendrán completas y trabajadas desde otra área de conocimiento.

En cambio, si se implanta en una empresa o estudio fuera de ese ámbito, las entradas necesitan ser generadas a partir de la idea de proyecto, información que será trasladada por el Project Manager/Promotor y dispuesta en la plataforma *BIM* al conocimiento de todos los interesados. Como procedimiento de la guía, para el entendimiento del propósito del proyecto, el equipo en aspiración de realizar un modelo con calidad hará un trabajo de análisis en requisitos y supuestos para su registro. Además, insertará para el trabajo plantillas, guías de modelado, etc.

Para la consecución de las salidas del proceso, al igual que para el trabajo a realizar sobre las entradas, se emplearán las herramientas y técnicas ya comentadas, cuya base es las

reuniones y comunicación, tanto con el Project Manager o Promotor como internamente con el equipo.

El producto del proceso será un cimiento sobre los que implantar los siguientes procesos, teniendo por ello una aproximación al plan de gestión de la calidad, que se terminará en la siguiente fase, y unas métricas de referencia en las que enfocar las mediciones de Calidad.

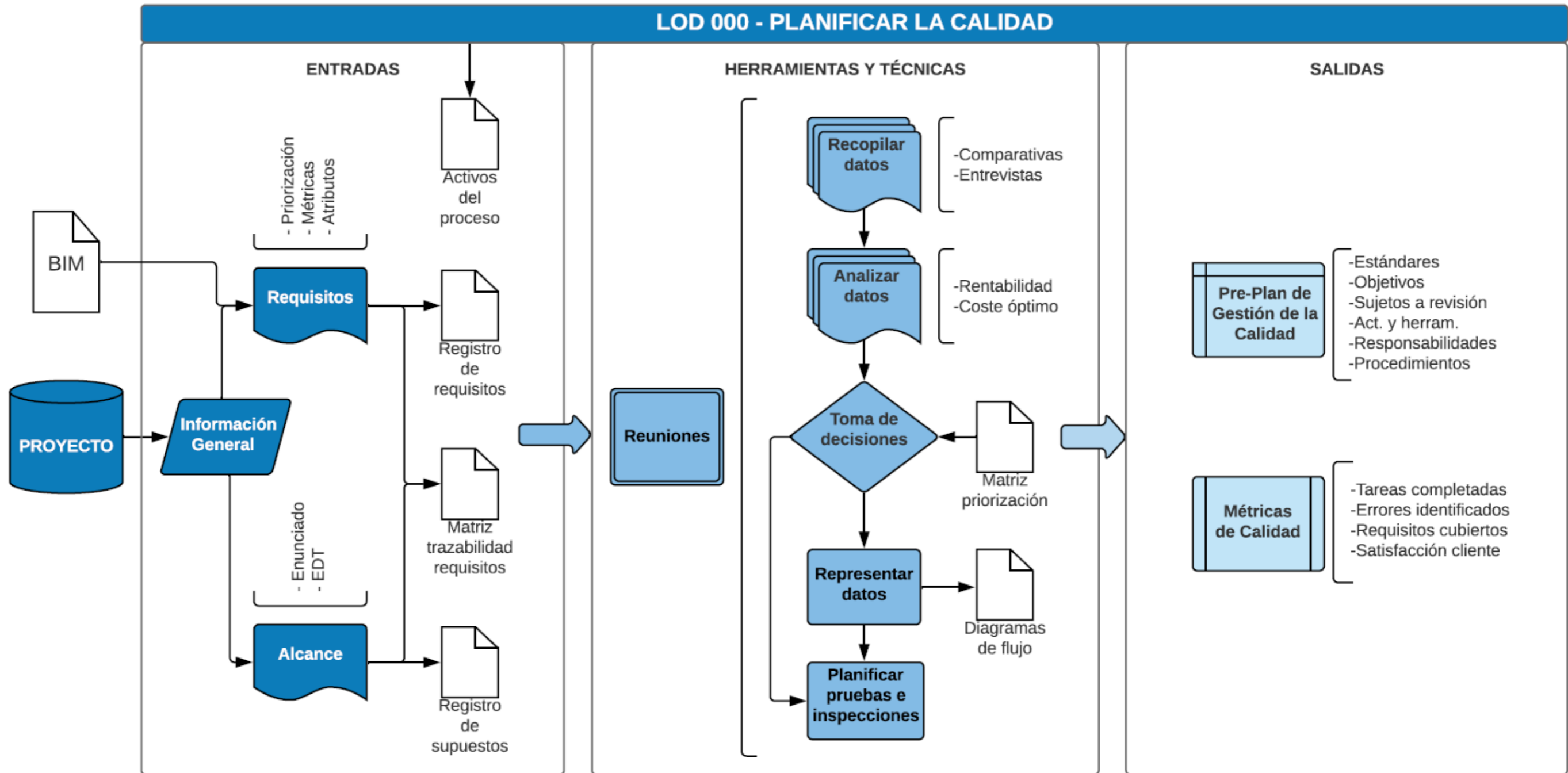


Ilustración 14: Esquema proceso, LOD 000 – Planificar la Calidad (Elaboración propia).

2.4.4. LOD 100

En este nivel de desarrollo, el trabajo a realizar en BIM consiste en representar las primeras ideas propuestas en el proyecto mediante símbolos conceptuales que ayuden a determinar la viabilidad de ciertas cuestiones del proyecto.

A medida que se desarrolla este nivel, se va adquiriendo información más precisa para constatar los objetivos y necesidades, además de verificar requisitos y supuestos.

- **RE-PPLANIFICAR LA CALIDAD**

En lo referente a la gestión de la calidad, esta fase será una prolongación de la anterior con el fin de aproximar el proceso Planificar la Calidad a las restricciones del proyecto:

- Corroborar requisitos y supuestos.
- Modificar y/o verificar las salidas ya planificadas anteriormente.

ENTRADAS:

Como entradas al proceso tendremos todos aquellos documentos de la fase anterior relativos a la información del proyecto, a partir de los cuales se generó el Plan de Gestión de la Calidad.

A) Registro de requisitos.

Obtenido de la información del proyecto en la fase anterior, se pueden añadir, modificar o eliminar requisitos por mero trámite del estudio de viabilidad de esta fase.

B) Alcance.

Tanto el enunciado del alcance como el desglose EDT pueden verse afectados tras la modificación de los requisitos: planificar nuevos entregables, modificar las restricciones...

C) Matriz de trazabilidad de requisitos.

Como consecuencia de los dos apartados anteriores, se verá alterado por el cambio en requisitos y su vinculación a los entregables descritos en el alcance.

D) Registro de supuestos.

Los supuestos registrados anteriormente van resolviéndose como transcurso del proyecto y surgen otros por el resultado de las modificaciones en requisitos y alcance.

HERRAMIENTAS Y TÉCNICAS:

Dado que la finalidad del proceso es adicionar y completar lo obtenido en el nivel de desarrollo anterior, las herramientas y técnicas que aparecen seguirán un proceso similar.

A) Recopilar datos.

Las entrevistas seguirán siendo fuente de información directa de la que nutrir el proceso.

B) Analizar datos.

La elección de alternativas en base a la rentabilidad y la búsqueda del coste óptimo, por el cual evitar costes de no conformidad, determinarán las diferentes alternativas candidatas a considerarse variaciones en los documentos que tenemos como entrada para este proceso.

C) Toma de decisiones.

La toma de decisiones con múltiples criterios seguirá siendo de ayuda para realizar, con el mismo método (matriz de priorización), la elección de alternativas a incluir en el plan.

D) Representar datos.

Los diagramas de flujo creados anteriormente se verán impuestos a modificaciones por las modificaciones elegidas. Los diagramas representarán procedimientos más acordes a las restricciones del proyecto al comprender informaciones más exactas y actualizadas.

E) Re-Planificar pruebas e inspecciones.

La eliminación de requisitos puede suponer que entregables, junto a las revisiones ya planteadas, queden obsoletos al proyecto. Al igual, los nuevos requisitos pueden incidir en establecer nuevas pruebas e inspecciones sobre entregables anteriormente definidos, o los nuevos incluidos al alcance en esta fase.

F) Reuniones.

Al igual que en la fase anterior, en esta similar vuelve a ser relevante el intercambio de información entre Project Manager y BIM Manager para la concreción de las cuestiones planteadas en este nivel de desarrollo.

SALIDAS:

A) Plan de Gestión de Calidad.

Al pre-Plan de Gestión de la Calidad, creado en LOD 000, se añaden o modifican aspectos en base a las nuevas circunstancias encontradas en este nivel de desarrollo. El nuevo Plan definirá la gestión de la Calidad de una forma más aproximada debido a la resolución de supuestos y la actualización de requisitos y alcance.

B) Actualizaciones al proyecto.

- Enunciado y/o EDT Alcance del proyecto: puede cambiar como consecuencia del proceso de planificación en LODs 000 y 100, al surgir nuevas actividades para la gestión de la calidad. A priori, la implantación del Plan de Gestión de la Calidad por el equipo de modelado en BIM no supondría un cambio en el alcance del proyecto, aunque cabe mencionarlo, pues los cambios necesarios han de superar un proceso de control de cambios mediante una solicitud de cambio, simplemente para verificar la posibilidad de su adaptación y observar la influencia que puede tener en el proyecto.

C) Actualizaciones a los documentos de registro.

- Registro de lecciones aprendidas: no mencionado anteriormente, pues no tiene relación directa con la gestión de la calidad, aunque sí es fructífero en todo ámbito un registro de lecciones aprendidas para tener en cuenta posteriormente las dificultades generadas como producto del trabajo. Queda sujeto a actualización, en este caso, tras Planificar la Calidad.

- Matriz de trazabilidad de requisitos: al igual, los requisitos de calidad y sus vinculaciones a objetivos y entregables pueden sufrir modificaciones no solo como parte del proceso, sino también como avance del proyecto.

CONCLUSIONES:

En este nivel, las entradas son aquellas susceptibles de modificación, sometidas a un procedimiento de tratado de datos tal cual se hizo en LOD 000, dando lugar al Plan de Gestión de la Calidad, y documentos de proyecto y de registro actualizados.

Por lo tanto, el proceso Planificar la Calidad se realiza en dos fases: mientras en LOD 000 se hace una planificación a un alto nivel teniendo en cuenta las dificultades para precisar informaciones que terminan siendo aproximadas, en LOD 100 se concreta el proceso a la vez que el avance del proyecto y el modelado van resolviendo los supuestos, y aportando información que ayude a precisar las determinadas cuestiones.

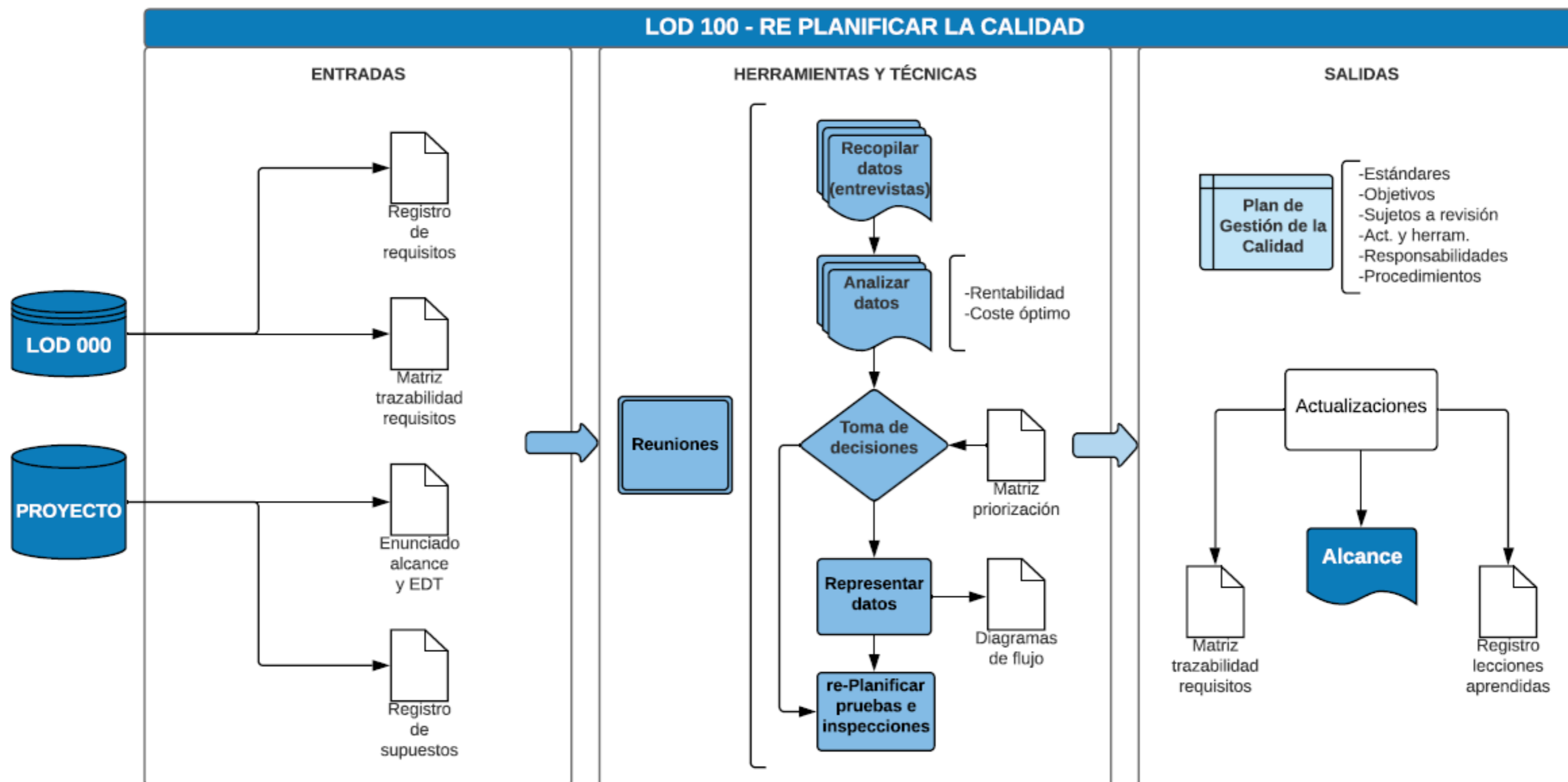
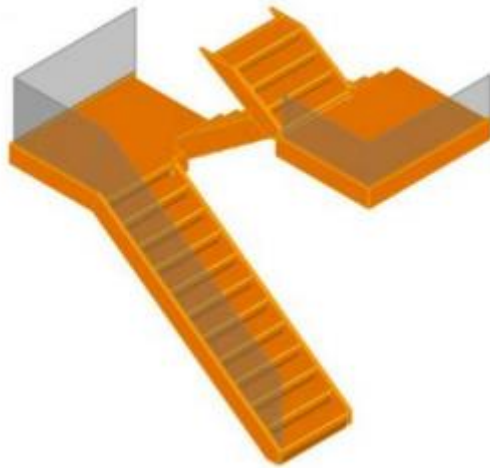


Ilustración 15: Esquema proceso, LOD 100 – re-Planificar la Calidad (Elaboración propia).

2.4.5. LOD 200

A este nivel de proyecto, el trabajo en BIM consistirá en ir añadiendo parámetros básicos. El modelo de desarrollo adquiere un volumen, se puede determinar la cantidad sobre determinados elementos, y contempla una ubicación y orientación.

En el proceso Planificar la Calidad anterior, además de tener en cuenta los requisitos particulares del Project Manager o Promotor, se deben incluir los requerimientos propios de la metodología *BIM* acordes a este nivel de desarrollo con el objetivo de marcar las directrices y límites del desarrollo en esta fase.



*Ilustración 16: Level of Development Specification, LOD 200 construcción de escalera (Bim Forum, 2019).
Fuente: Bim-International.com*

Por ejemplo, los requerimientos específicos de una escalera en este nivel de desarrollo (*Ilustración 16*) serán:

- Dimensiones nominales del plano (largo y ancho).
- Dimensiones verticales nominales (niveles, descasillos).

Luego de haberlo tenido en cuenta en el Plan de Gestión de la Calidad (Planificar la Calidad) mientras se desarrollaban los niveles anteriores, en esta fase se ejecutarán los siguientes procesos:

- **GESTIONAR LA CALIDAD**

El proceso Gestionar la Calidad pretende medir los entregables y procedimientos, indicados en el Plan de Gestión de Calidad, según los estándares, objetivos y métricas de calidad establecidos. Por lo tanto, la finalidad del proceso es:

- Convertir el Plan de Gestión de la Calidad en actividades ejecutables que realicen la medición de calidad en el proceso Controlar la Calidad.
- Visualizar y analizar el estado global de calidad del proyecto para obtener mejoras, y llevar a cabo las acciones adecuadas en función de los datos y resultados de las mediciones del control de la calidad.

Su ejercicio ayuda a diseñar un modelo óptimo y completo, con la confianza de que la aplicación de las correcciones y cambios para su mejora produzcan unos entregables que cumplen los requisitos y expectativas del Project Manager y/o Promotor. Además, internamente en el equipo u organización se obtendrá una eficiencia y eficacia en los métodos de trabajo.

ENTRADAS:

A) Plan de Gestión de Calidad.

Creado ya en Planificar la Calidad, comprende aquellos estándares y objetivos de calidad en los que se pretende centrar las actividades de medición de los entregables y procesos sujetos a revisión.

B) Métricas de calidad.

Las métricas se utilizarán para enfocar el desarrollo de pruebas e inspecciones a los entregables y como base para la mejora de estos y sus procedimientos.

C) Mediciones del control de calidad.

La calidad de los entregables será evaluada comparando los datos y resultados del proceso Controlar la Calidad con los estándares y objetivos de calidad planificados.

D) Activos del proceso.

Pueden ser procedimientos o guías, plantillas de calidad, matrices de trazabilidad...

Sería de gran ayuda incluir la "Guía de usuarios BIM, capítulo 6: Aseguramiento de Calidad" (Smart, B.; 2014). Se puede utilizar en este proceso para determinar qué actividades ejecutables para el control de calidad han de realizar los diseñadores, tanto individual como en grupo; y para especificar qué archivos BIM, de los entregables a probar, han de ser revisados. También incluye hojas de verificación destinadas a tal efecto.

HERRAMIENTAS Y TÉCNICAS:

A) Recopilar datos.

Para afrontar las actividades de medición de la calidad se utilizan hojas de verificación como la de la *Ilustración 17*, útiles a modo de recordatorio de las cuestiones necesarias a tener en cuenta para cumplir determinados requisitos, además de ser una prueba para el control de calidad del archivo o entregable.

	Bueno	Deficiente	Irrelevante	Comentarios
Especificación BIM				
Formato de archivo de los modelos compatibilizados (IFC y otros archivos acordados)				
Los elementos de construcción se corresponden con los documentos de mediciones				
El modelo coincide con los documentos de medición (muestreo aleatorio)				
Coordinar que se han utilizado los planos de imagen compatibilizados				
Las capas se definen				
Elementos de construcción y los espacios definidos en capas				
Los acuerdos/requisitos de los espacios y elementos de construcción se han modelado con las herramientas adecuadas				
Los elementos estructurales se han modelado con las herramientas adecuadas				
Modelo, no hay partes adicionales en el edificio				
El modelo no está anidado o no existen elementos de construcción duplicados				
El modelo no tiene recortes significativos entre los componentes				
El área bruta de los locales se corresponde con el área de los espacios definidos por muros y otros elementos estructurales				
La altura de los locales del modelo se corresponde con los requisitos				
Los locales están definidos por muros u otros elementos				
El espacio no se solapa				
Se ha utilizado la variable de estado como se acordó				

Ilustración 17: Ejemplo hoja de verificación (Smart, B.,2014). Fuente: buidingsmart.es

Otra herramienta útil es la matriz de trazabilidad de archivos, en la que se establezcan los vínculos entre estos y los entregables a controlar. De esta manera quedan registrados los archivos sujetos a revisión, incluso añadir su estado actual y pruebas de control necesarias.

MATRIZ DE TRAZABILIDAD DE ARCHIVOS					
Proyecto:	'La Geria'				
Descripción:	Vivienda unifamiliar aislada				
Archivos	Descripción	Entregable EDT	Pruebas	Estado actual	Acciones
Inventario BIM		Entregable 2.2	HV 1	Verificado	/
BIM Espacial		Entregable 2.2	HV 1-3	Verificado	/
Construcción elem. BIM		Entregable 2.2	HV 3-12	Verificado*	Corregir (ver Hojas Verif.)
Sistema BIM (MEP)		Entregable 2.2	HV 3-12	En revisión	
BIM fusionado		Entregable 2.2	HV 12-15	En modelado	
...					

Tabla 5: Ejemplo matriz de trazabilidad de archivos (Elaboración Propia).

El ejemplo de la *Tabla 5* genera un registro de los archivos específicos del supuesto entregable 2.2, que el proceso Planificar la Calidad ha establecido que debe ser revisado. En esta, se puede establecer una descripción o aclaración acerca del archivo, como la fecha de comienzo o de revisión, el tiempo esperado para completarlo...; el entregable al cual pertenece; las pruebas otorgadas de revisión para cada uno de ellos, como hojas de verificación; el estado actual y las acciones recomendadas en base a los resultados del proceso Controlar la Calidad.

B) Analizar datos.

- Analizar alternativas: investigar y profundizar acerca de los beneficios y defectos de las alternativas puede ser eficaz a la hora de elegir entre diferentes opciones (procedimientos, orden de ejecución, softwares, número de personal implicado...) para realizar de la mejor manera posible el trabajo de modelado en esta fase.
- Analizar documentos: las mediciones de calidad de los entregables en el proceso de control nos muestran aquellos errores y defectos del producto al que dan lugar los procedimientos y alternativas de trabajo empleadas.
- Analizar errores: los procedimientos de trabajo mal ejecutados deben ser corregidos realizándose un análisis de los errores producidos y llegar a la causa raíz de donde parten. De esta manera no solo se elimina un error, también se evita que vuelva a repetirse. El procedimiento pasa por definir el problema identificando la causa raíz, especular sobre las diferentes soluciones y elegir la mejor de ellas, implementarla y comprobar la erradicación del problema.

C) Toma de decisiones.

Al igual que para la toma de decisiones en el proceso Planificar la Calidad, sigue siendo una buena opción emplear una matriz de priorización en la cual establecemos las diferentes alternativas y se evalúan, según el análisis realizado en cada una de ellas, mediante múltiples criterios.

D) Representar datos.

- Diagramas de afinidad: una clasificación de los errores y defectos en grupos revelan los procedimientos, métodos o disciplinas que requieren un análisis para su mejora.

Diseño de espacios	Diseño de elem. constructivos	Diseño de estructura	Mediciones
<p>La altura de los locales del modelo no se corresponde con los requisitos</p>	<p>Los elementos de construcción no se corresponden con los elementos de mediciones</p> <p>Existe superposición o solape entre elementos estructurales y no estructurales</p>	<p>Los elementos estructurales no se han definido con las herramientas adecuadas</p> <p>Existe superposición o solape entre elementos estructurales y no estructurales</p> <p>En los elementos estructurales no se han previsto espacios para el pase de las instalaciones</p>	<p>Los elementos de construcción no se corresponden con los elementos de mediciones</p>

Ilustración 18: Ejemplo diagrama de afinidad (Elaboración propia).

En este ejemplo de la *Ilustración 18*, la organización de los errores encontrados en las pruebas y mediciones del control de la calidad nos muestra que el diseño de estructuras está siendo deficiente con respecto a los criterios de verificación y, en consecuencia, con los requisitos del proyecto. Las demás disciplinas también presentan algunos errores, por lo que también habría que realizar un análisis de errores para buscar la causa origen y plantear una solución.

E) Reuniones de gestión.

En este proceso, deben impartirse reuniones cada cierto periodo y de manera estructurada para sacar conclusiones acerca del procedimiento de trabajo que se está llevando a cabo durante el modelado en BIM para la consecución de los objetivos establecidos. Los temas a tratar en estas reuniones deben ser:

- Identificar los procedimientos que den buenos resultados e identificar los que dan malos resultados, atendiendo a si es un problema de planteamiento o de ejecución.
- Identificar los errores, defectos y no conformidades.
- Compartir las experiencias en proyectos similares que se estén llevando a cabo.
- Documentar los aspectos tratados en el registro de lecciones aprendidas.

SALIDAS:

A) Documentos de prueba y evaluación.

Se estipulan en función de los objetivos y estándares de calidad descritos en el Plan de Gestión de Calidad y serán considerados entradas para el posterior proceso de control. Estos documentos son las hojas de verificación y matriz de trazabilidad de archivos que generamos en este proceso, junto con la matriz de trazabilidad de requisitos que se produjo en Planificar la Calidad para vincular los requisitos a los entregables.

B) Informes de Calidad.

Los informes de calidad, efectuados tras el conocimiento de los resultados del control, son puestos a disposición del equipo para ejecutar aquellas medidas o correcciones necesarias para cumplir los requisitos de aceptación. En ellos se deben contener información acerca de los errores y defectos encontrados durante el proceso, las recomendaciones y acciones de mejora (correctivas, preventivas, reparación de defectos o actualizaciones), y las conclusiones de Controlar la Calidad.

C) Cambios a implementar.

En base los informes de calidad, se realizarán acciones de mejora y cambios sobre entregables o procedimientos de trabajo, que deberán ser puestos a prueba de nuevo en Controlar la Calidad para su verificación.

D) Actualizaciones.

- Plan de Gestión de Calidad: tras el control y gestión pueden surgir cambios que influyan al plan ya redactado, necesitando actualización en los procedimientos de calidad o responsabilidades establecidas.
- Cronograma: el trámite de acciones de mejora e implementación de los cambios necesarios indicados, según los resultados del control de calidad, pueden suponer la necesidad de más tiempo para su corrección y/o modificación de entregables o procedimientos.
- Registro de lecciones aprendidas: se actualizará añadiendo la información de las dificultades encontradas y la forma en que se podrían o se han evitado por medio de Gestionar la Calidad.

CONCLUSIONES:

En este nivel de desarrollo en el que ya se empieza a formar el modelo en *BIM*, parece óptimo crear actividades que sean capaces de realizar en el siguiente proceso un control de calidad de los trabajos que se están ejercitando y de los entregables, en base a los estándares y objetivos de calidad fijados en el Plan de Gestión de Calidad.

Por otro lado, una vez esta medición se haya realizado a través del control de calidad, la gestión de la calidad también se encarga de analizar esos datos. A partir del análisis, se aportarán acciones de mejora y cambios en los procedimientos para corregir el defecto o error detectado y evitar que se vuelva a producir.

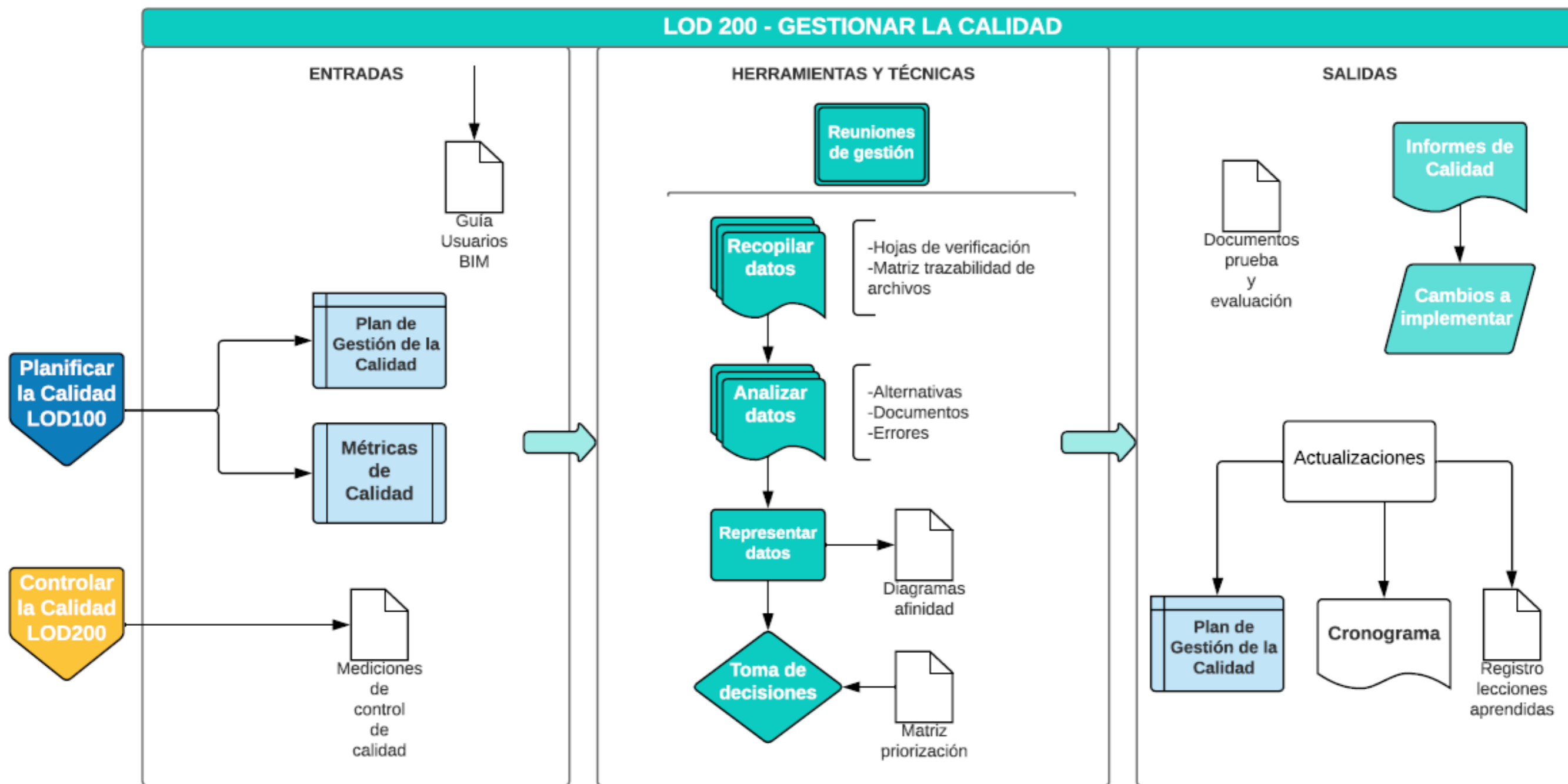


Ilustración 19: Esquema proceso, LOD 200 – Gestionar la Calidad (Elaboración propia).

- **CONTROLAR LA CALIDAD**

A la misma vez que se realiza la gestión de la calidad, el proceso Controlar la Calidad se nutre de los documentos de prueba y evaluación generados (hojas de verificación y matriz de trazabilidad de archivos) para llevar a cabo las mediciones del control a través de la realización de estos. Los resultados del control pasarán de nuevo al proceso Gestionar la Calidad junto con los entregables verificados. Por lo tanto, el proceso tratará:

- Evaluar entregables y/o procedimientos a partir de las mediciones y registro de las actividades propuestas en Gestionar la Calidad.
- Garantizar que los entregables cumplen con los requisitos y contienen la funcionalidad para el uso al que está destinado.

En definitiva, realiza la medición de parámetros y características del modelo con el fin de comprobar si el entregable a verificar está resuelto acorde a los estándares y objetivos planteados en Planificar la Calidad.

No hay que confundir ambos procesos: Gestionar la Calidad se dedica a crear los medios por los cuales Controlar la Calidad realiza la medición en entregables y a gestionar los procedimientos en base a los resultados del control. Aun así, al término de este LOD 200, expongo detenidamente la diferencia y relación entre ambos procesos (*Ilustración 22*).

ENTRADAS:

A) Plan de Gestión de la Calidad.

En este se especifican los procedimientos para realizar el control de la calidad, junto a estándares, objetivos y responsables; además de los entregables y métodos de trabajo sujetos a revisión.

B) Documentos y registros.

- Métricas de calidad: establece la línea base por encima de la cual los entregables deben contener sus parámetros para que el proceso de control los verifique como adecuados.
- Documentos de prueba y evaluación: para la medición de estándares y objetivos en los entregables a evaluar.
- Registro de lecciones aprendidas.

C) Entregables.

Para poner un ejemplo dentro de este ámbito, dentro del paquete de trabajo 2 existen varios entregables. Uno de ellos podría ser el entregable 2.2 y podría corresponderse con un LOD 200 de la estructura de la segunda planta del edificio.

D) Cambios implementados.

De la misma forma que se evalúan los entregables, deben verificarse aquellos cambios que se hayan realizado durante Gestionar la Calidad a consecuencia de los errores y defectos encontrados en procedimientos o entregables anteriormente medidos.

E) Activos del proceso.

Pueden utilizarse guías de verificación de calidad o guías de utilización del software de visualización y validación con el que se tenga previsto realizar el control.

HERRAMIENTAS Y TÉCNICAS:

A) Recopilar datos.

La recopilación de datos será fundamental en el proceso pues es la manera que tenemos de obtener las mediciones sobre el entregable o procedimiento de trabajo. Aquí participan las hojas de verificación, de las que recolectamos la información determinante en la ejecución de la inspección.

B) Revisiones.

El entregable o trabajo se somete a los documentos de prueba y evaluación para su comparativa y verificar que cumple con los estándares de calidad planificados, aportando información real de lo revisado en función de los requerimientos del proyecto. A partir de estas se encuentran los errores y defectos sobre los que ejercer una gestión de cambios y correcciones para evitar la no conformidad.

C) Analizar datos.

Para otorgar un valor (bueno, deficiente...) sobre aquello que se está revisando será necesario la comparativa de las métricas de calidad preestablecidas con la medición en la práctica real.

D) Representar datos.

Para llevar un control a largo plazo del funcionamiento eficaz del Plan de Gestión, utilizaremos histogramas de errores en relación con las revisiones. De esta manera, se podrá comprobar la mejora en el método de trabajo que se representará en los histogramas como disminución de defectos y errores por revisión a medida que avanza el proyecto, tendiendo a un histograma sesgado a la derecha. Esta herramienta se utiliza en este nivel de desarrollo al igual que en todos los siguientes, pues la finalidad es ver la evolución en la vida útil de confección.

En la *Ilustración 20* se plantea un ejemplo de histograma de los defectos encontrados en los sucesivos paquetes de trabajo del proyecto. Este nivel de desarrollo tendrá sus paquetes de trabajo específicos en los que se harán las revisiones planteadas, estableciendo un valor de defectos para cada uno de ellos, y así sucesivamente con todos los niveles de desarrollo. Lo ideal es que se vayan detectando cada vez menos errores con las hojas de verificación, para poder afirmar que los cambios y correcciones que se llevan a cabo sobre los errores encontrados en la medición del control de calidad son gestionados de buena manera para su solución.

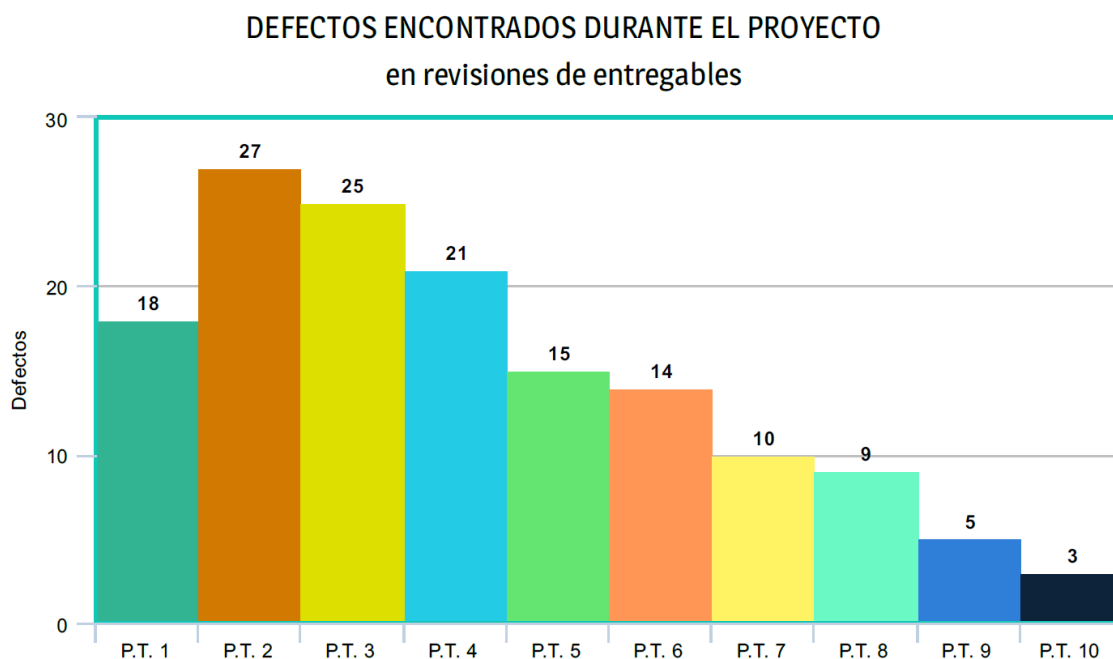


Ilustración 20: Ejemplo histograma de defectos por paquetes de trabajo (Elaboración Propia).

E) Reuniones.

Las reuniones pueden ser interesantes para tratar los cambios implementados sobre defectos precedentes o métodos de trabajo que conduzcan a ellos, los cuales deben ser examinados de nuevo y verificados como correctos.

SALIDAS:

A) Mediciones de control de calidad.

Resultados obtenidos con los documentos de prueba y evaluación de las actividades planteadas en la gestión de la calidad. Una vez ejecutada la medición, volverá al proceso Gestionar la Calidad para determinar acciones en base a los datos.

B) Entregables verificados.

En definitiva es el objetivo del proceso, realizar el control sobre los entregables y verificarlos como correctos para su concreción.

C) Actualizaciones.

- Documentos de prueba y evaluación: las hojas de verificación y la matriz de trazabilidad de archivos de las que parten el control pueden ir actualizándose a fin de alcanzar siguientes revisiones más óptimas.
- Registro de lecciones aprendidas.

CONCLUSIONES:

Los documentos de prueba y evaluación que propone Gestionar la Calidad son utilizados en este proceso para realizar las mediciones de control (con hojas de verificación) en aquellos archivos de los entregables a revisar (organizados en la matriz de trazabilidad de archivos), obteniendo datos y resultados reales. En base a ellos, tendremos por un lado los entregables verificados como correctos y, por otro, los entregables o trabajo de modelado verificado como incorrecto. Los defectos y errores de estos últimos serán evaluados de nuevo por el proceso Gestionar la Calidad para su corrección y modificación de procedimientos, verificándose de nuevo en Controlar la Calidad tras su implementación y así corroborar su validez.

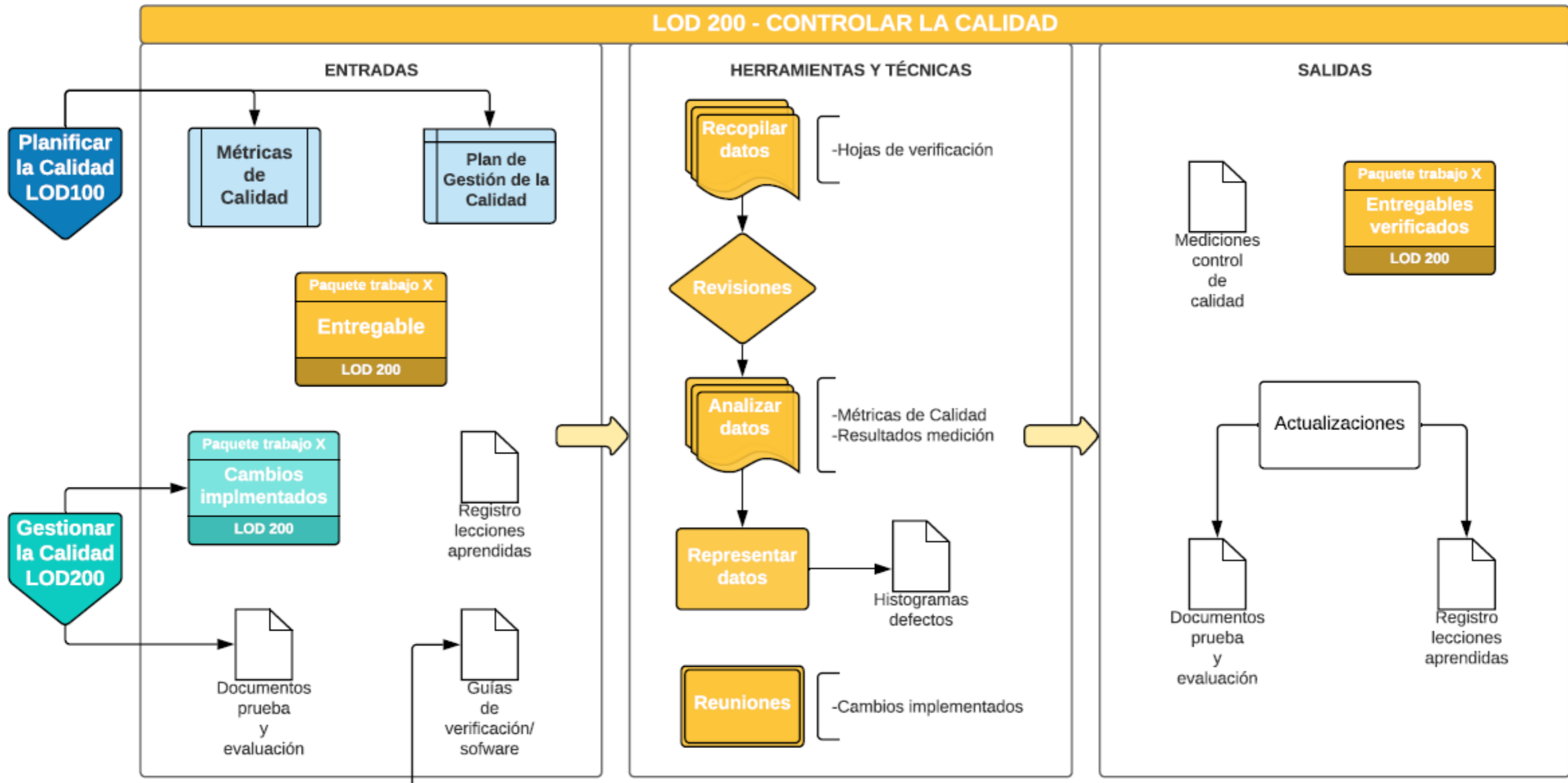


Ilustración 21: Esquema proceso, LOD 200 – Controlar la Calidad (Elaboración propia).

• INTERACCIÓN GESTIONAR-CONTROLAR

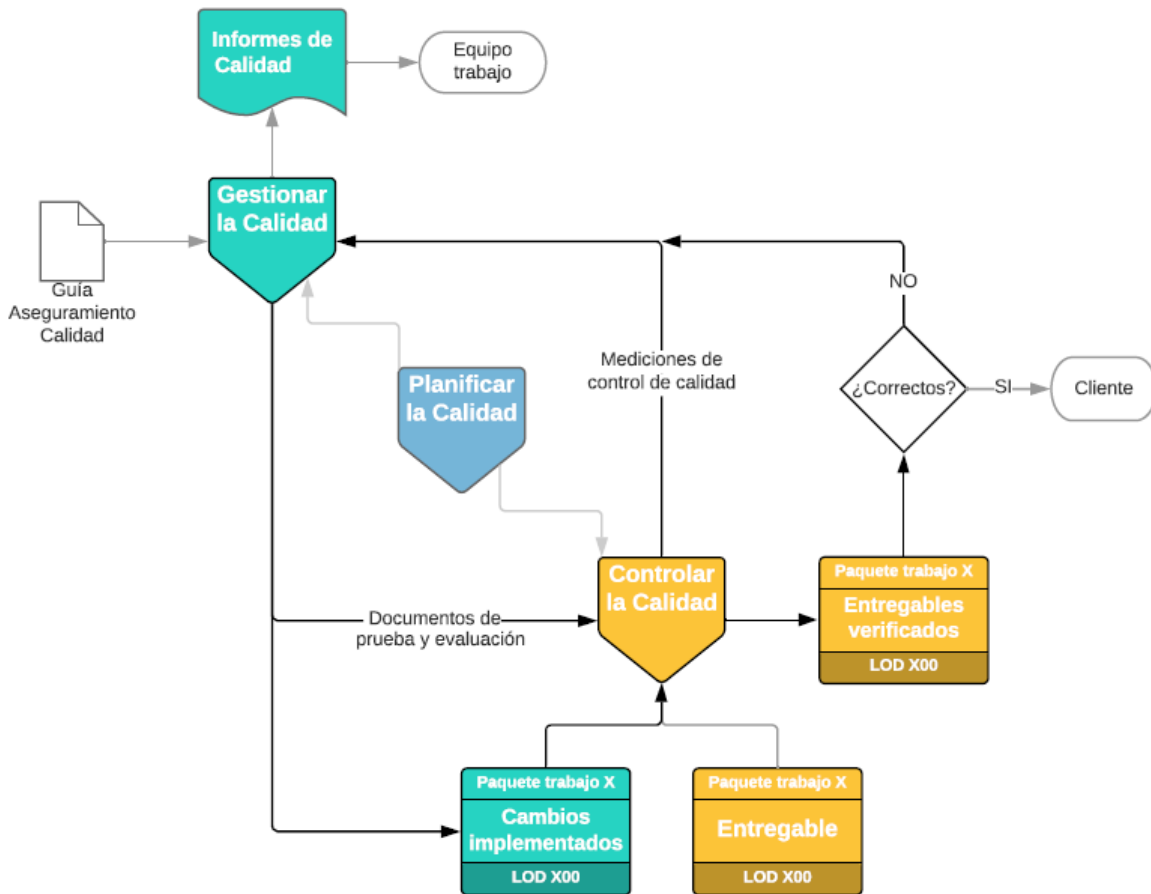


Ilustración 22: Interacción entre los procesos de gestión y control de la calidad (Elaboración propia).

Con la *Ilustración 22* se pretende esclarecer la relación entre el proceso Gestionar la Calidad y el proceso Controlar la Calidad, que será aplicable en reglas generales a todos los niveles de desarrollo.

Por un lado, existe un procedimiento de preparación del control. El proceso Gestionar la Calidad determina, teniendo en cuenta lo desarrollado en Planificar la Calidad y la Guía de Aseguramiento de *Smart Building*, las actividades y herramientas para realiza la medición de los diferentes archivos del modelo, los cuales se corresponderán a un determinado entregable planificado. Todo esto debe realizarse en el ámbito marcado por el proceso anterior de planificación, en el que se establecen los entregables que han de ser revisados, y las métricas, estándares y objetivos en base a los cuales se orientará la medición.

Por otro lado, el proceso Controlar la Calidad ejecutará la medición de los entregables planificados en el Plan de Gestión de Calidad mediante lo dispuesto en el proceso de gestión, es decir, los documentos de prueba y evaluación. El resultado de ello serán unos entregables verificados, correctos o no correctos. Los correctos estarán en posición de ser entregados al cliente (Project Manager, Promotor...), mientras que los no correctos serán ubicados de nuevo en el proceso Gestionar para que este, en virtud de los resultados de las mediciones del control de calidad, realice informes de calidad. Estos informes serán habilitados al

equipo de modelado, indicando las acciones de corrección para este entregable, y los cambios y acciones preventivas para que errores similares sean eludidos.

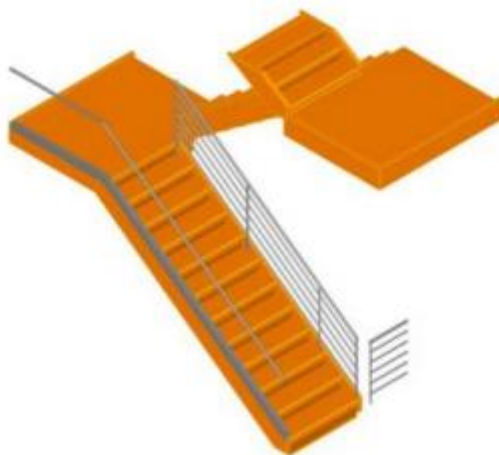
Como debe ser, tanto los cambios implementados en el entregable corregido como las acciones de mejora para procedimientos siguientes, serán evaluados de nuevo en Gestionar la Calidad con la finalidad de probarlos y verificarlos como correctos.

2.4.6. LOD 300/350

De acuerdo con el artículo "Niveles de desarrollo LOD. Definiciones, innovaciones y adaptación a España" (Juan Alonso, 2015):

- LOD 300 es el nivel en el que se definen gráficamente el elemento con una geometría en detalle, especificando de forma precisa cantidades, tamaño, forma y/o ubicación respecto al conjunto del proyecto, pertenencia a un sistema constructivo específico, incluso uso y montaje en términos de cantidades. Además, suele incluir información no gráfica de productos y materiales de los elementos.
- LOD 350 es equivalente a LOD 300. Sin embargo, este no solo define gráficamente el elemento con una geometría en detalle, también lo define constructivamente. Es propio de proyectos complejos desarrollados independientemente por disciplinas u otra desagregación de proyecto específica, donde se hace necesario establecer una prioridad entre los elementos de estructura, elementos de instalaciones y elementos de arquitectura.

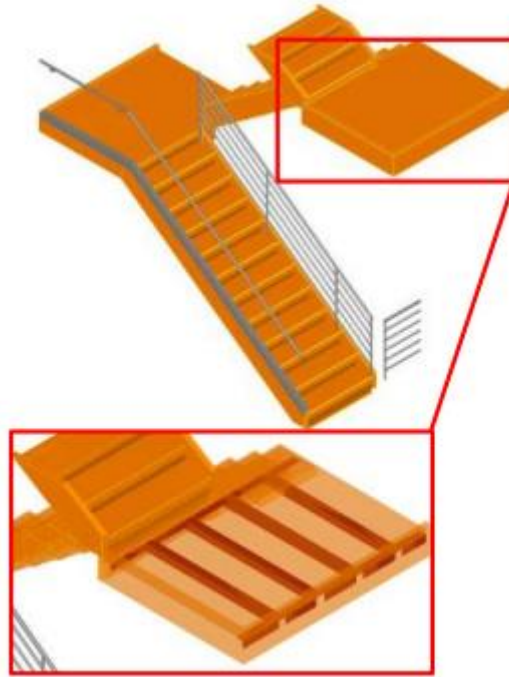
De la misma manera que en LOD 200, estos niveles tienen sus requerimientos particulares de la metodología BIM, los cuales irán planteados como requisitos desde Planificar la Calidad.



*Ilustración 23: Level of Development Specification, LOD 300 construcción de escalera (Bim Forum, 2019).
Fuente: Bim-International.com*

Siguiendo con el ejemplo de la fase anterior, el modelado de una escalera para LOD 300 (*Ilustración 23*) tiene los siguientes requerimientos básicos:

- Modelado de los principales elementos de soporte (zanca).
- Modelado de huellas, contrahuellas, barandillas, rodapiés, etc., conforme al diseño especificado.



*Ilustración 24: Level of Development Specification, LOD 350 construcción de escalera (Bim Forum, 2019).
Fuente: Bim-International.com*

Con el mismo ejemplo, el modelado de la escalera para LOD 350 (*Ilustración 24*) conlleva esos requerimientos a incluir en Planificar la Calidad como requisitos:

- Modelado de elemento en su esencia constructiva (materiales, disposición, etc.).
- Los espacios y partes claves están totalmente definidas.

El procedimiento en esta fase del Plan de Gestión de la Calidad que se plantea es básicamente el mismo que en LOD 200. Intervienen de forma análoga los procesos Gestionar y Controlar la Calidad y la interacción entre ellos será igual.

La diferencia real con la fase anterior estará en el planteamiento de la gestión y del control, es decir, los documentos de prueba y evaluación originados en Gestionar la Calidad estarán enfocados según los requisitos planificados, y estos en base a los requerimientos de la metodología BIM para darle al entregable final la funcionalidad preestablecida. Controlar la Calidad ejecutará esos documentos y obtendrá unas mediciones de control de calidad susceptibles de comparación con los estándares y objetivos de calidad para este nivel de desarrollo.

Es por ello que consideramos como entrada “Level of Development Specification v.2009” (Bim Forum, 2019) en Planificar la Calidad.

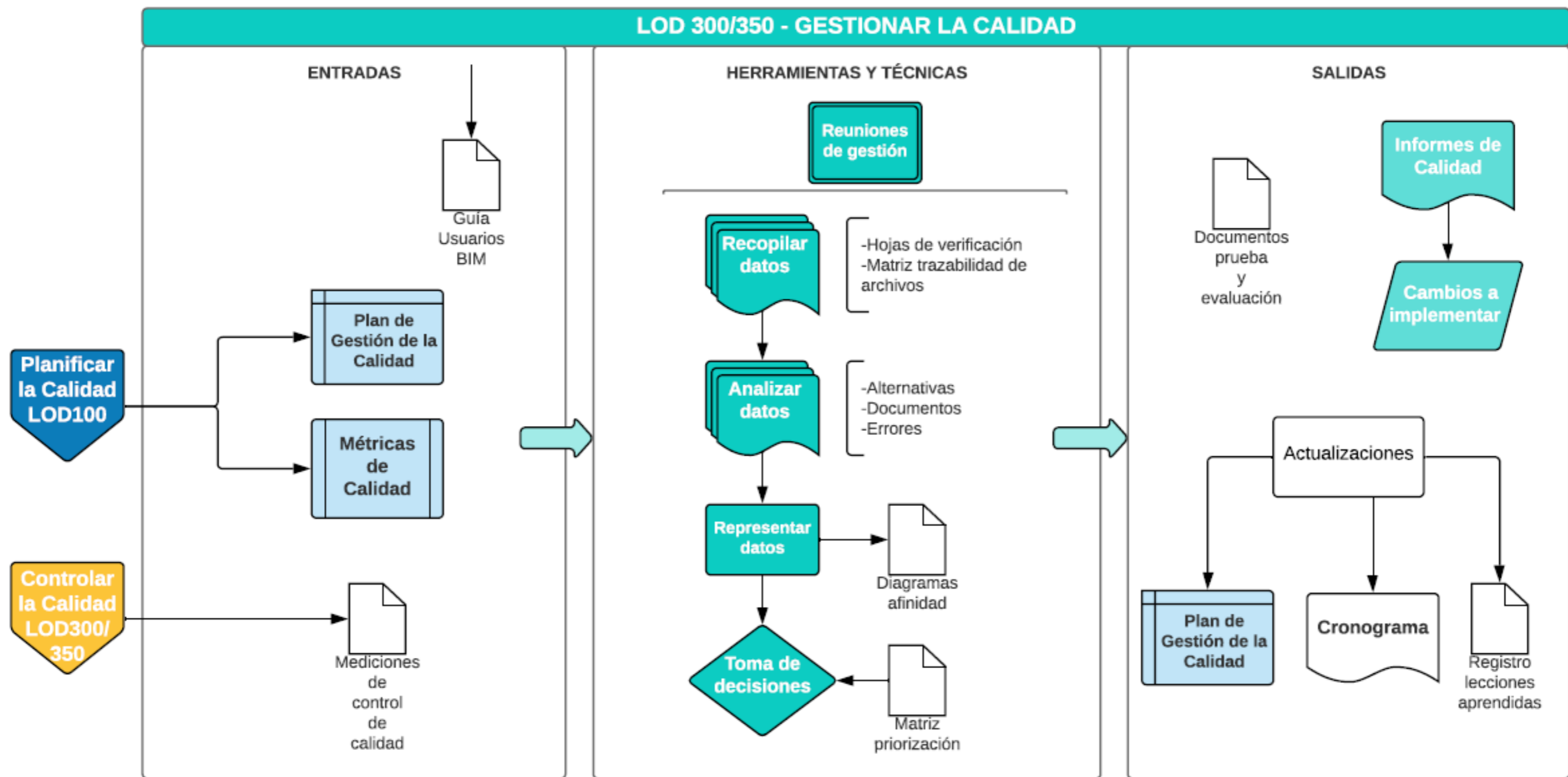


Ilustración 25: Esquema proceso, LOD 300/350 – Gestionar la Calidad (Elaboración propia).

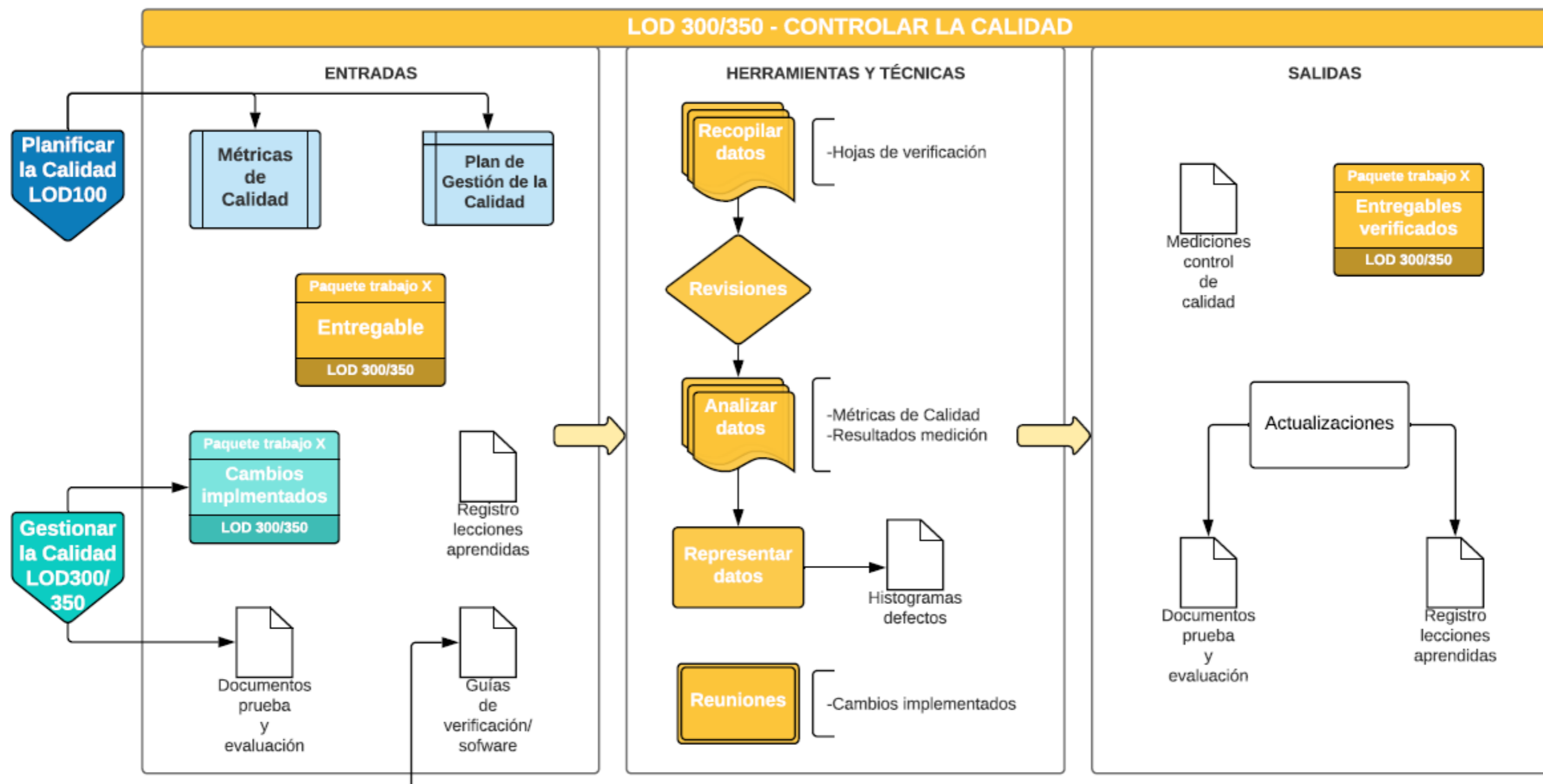
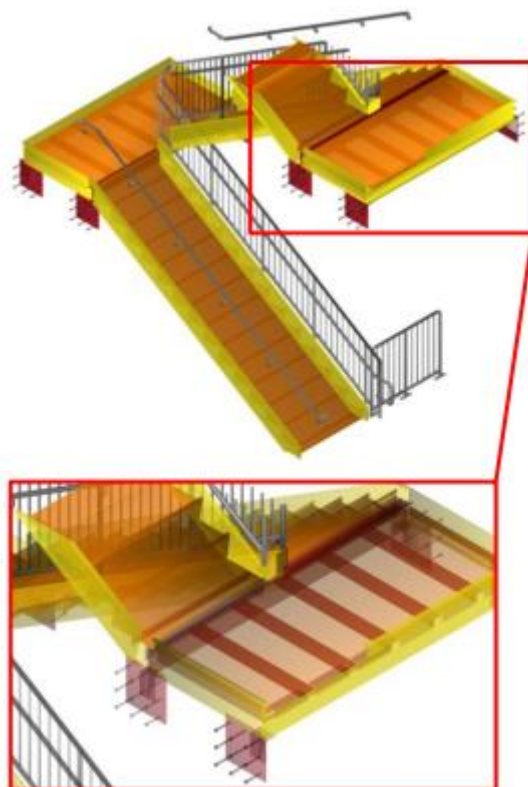


Ilustración 26: Esquema proceso, LOD 300/350 – Controlar la Calidad (Elaboración propia).

2.4.7. LOD 400

Este nivel de desarrollo se realiza de manera simultánea a la fase de ejecución del proyecto, aunque cabe la necesidad de modelar cada fase con antelación a su construcción con vistas a la programación propia de la obra. El nivel de medición es exacto y su alcance entra dentro del campo del contratista o fabricante de elementos y sistemas.

Los elementos de modelado, en el presente nivel, tendrán la peculiaridad de contar con información de fabricación específica para el proyecto, puesta en obra/montaje e instalación.



*Ilustración 27: Level of Development Specification, LOD 400 construcción de escalera (Bim Forum, 2019).
Fuente: Bim-International.com*

Continuando con la escalera de la *Ilustración 27*, para este nivel de desarrollo habrá que tener en cuenta durante Planificar la Calidad, de nuevo, los requerimientos especificados por el “LOD Spec v.2019” (Bim Forum, 2019) para su consideración como requisitos en esta fase:

- Todos los elementos de la escalera estarán modelados para apoyar y ayudar la instalación y puesta en obra.
- Unión entre materiales del elemento.
- Unión a otros elementos constructivos adyacentes.

Aquí la cosa cambia en parte, pues mientras que en niveles anteriores se pretendía lograr el diseño del proyecto (fase de proyecto), en LOD 400 se atiende a la propia ejecución en obra de lo diseñado anteriormente (fase de ejecución). En el ejemplo de la escalera, hasta LOD 350 se había modelado teniendo en cuenta incluso los materiales y su disposición, y en LOD 400 se plantea como lo necesario para ejecutar en obra esa escalera considerando

piezas de unión entre materiales y a otros elementos constructivos, e incluso, en ese caso, encofrados y equipos de protección colectiva como son barandillas.

Por lo tanto, en Planificar la Calidad se considerarán unos requisitos muy diferentes, con respecto a los niveles anteriores, exigidos por los requerimientos de la metodología BIM y por el momento del proyecto. Así, estos requisitos tendrán unos objetivos establecidos en el Plan de Gestión de la Calidad distintos porque han de satisfacer las necesidades del proceso de ejecución del proyecto, en definitiva, fundados por la funcionalidad requerida para este nivel.

En cuanto a los procesos en este nivel, aunque como ya hemos dicho existen diferentes requisitos planteados en Planificar la Calidad, intervienen de nuevo los procesos Gestionar y Controlar la Calidad. No obstante, existe una diferencia fundamental con respecto a los niveles de desarrollo anteriores: el proceso Gestionar la Calidad ha de generar unos documentos de prueba y evaluación conforme instrucciones y catálogo del fabricante, guías de instalación y puesta en obra, y plan de seguridad y salud (propuesto por contratista/s a partir del estudio de seguridad y salud), además del diseño constructivo del propio proyecto en los niveles anteriores.

De esta manera, a expensas de conseguir unos documentos de prueba y evaluación eficaces al proceso de montaje y puesta en obra, consideraremos como entrada en Gestionar la Calidad aquellos instrumentos que especifiquen de alguna manera estas características y que, junto a lo planteado anteriormente en Planificar la Calidad, se pueda Controlar la Calidad de lo que se modele en este LOD 400.

CONCLUSIONES:

En este nivel de desarrollo, el cual se simultánea con la construcción del edificio, participan los procesos Gestionar la Calidad y Controlar la Calidad con la misma interacción que hasta ahora han empleado.

Para realizar una buena gestión de la calidad, los requerimientos adscritos a cada nivel de desarrollo por *BIM*, son considerados como requisitos en Planificar la Calidad (LOD 000/100), y plasmados en objetivos y estándares en el Plan de Gestión de Calidad.

Además, es necesario que, para aportar la funcionalidad que este nivel requiere de cara a la fase de ejecución del edificio, se estudien las instrucciones y guías de instalación de los materiales y fabricantes, incluso el Plan de Seguridad y Salud aprobado para disponer equipos de protección si se requiere. Todo ello con el fin de generar unos documentos de prueba y evaluación acordes al proyecto en LOD 400 para realizar un correcto control de calidad en el modelo, del cual adquirir para la construcción del edificio planos de colocación y puesta en obra, especificaciones de ejecución, etc.

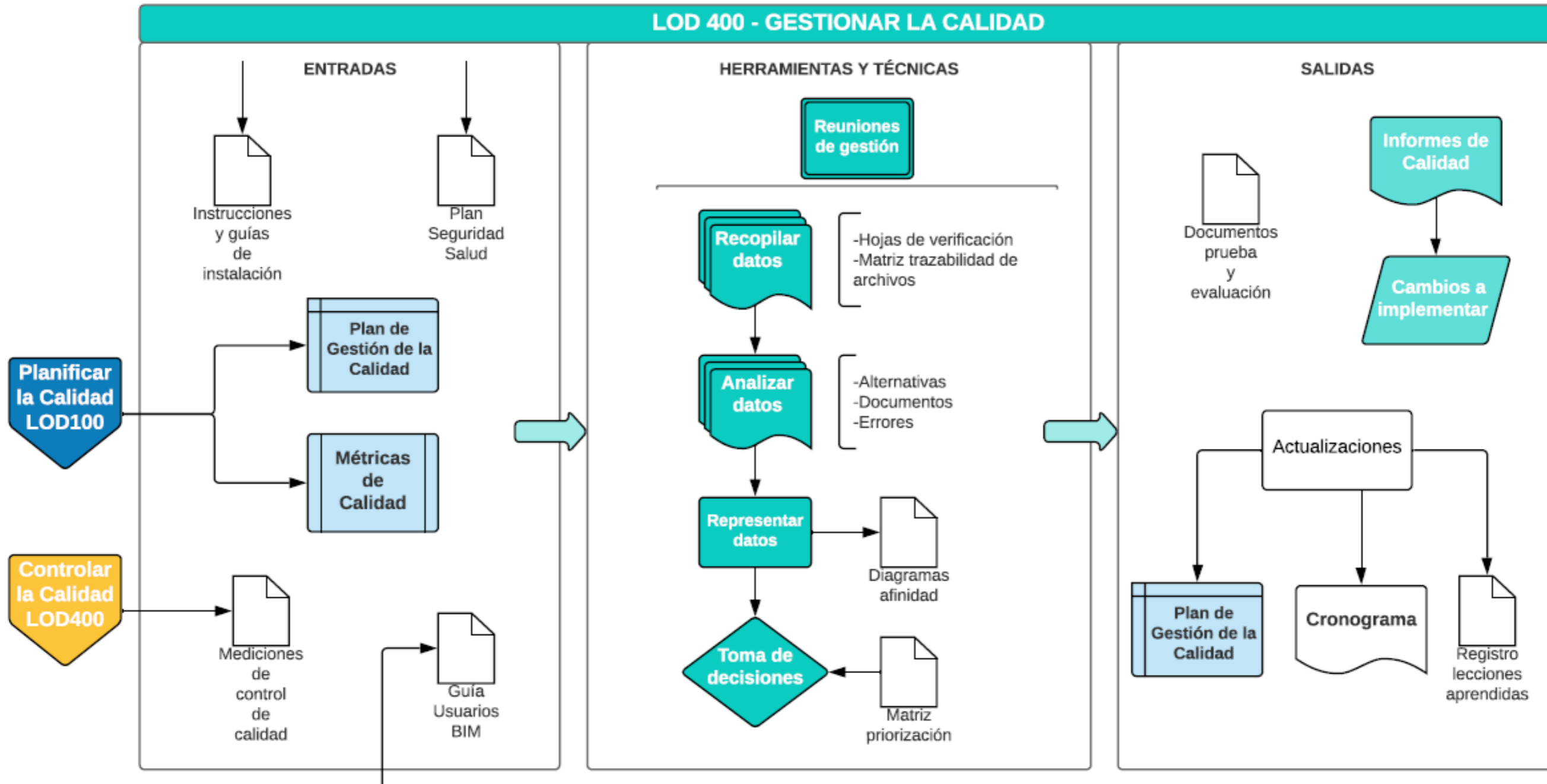


Ilustración 28: Esquema proceso, LOD 400 – Gestionar la Calidad (Elaboración propia).

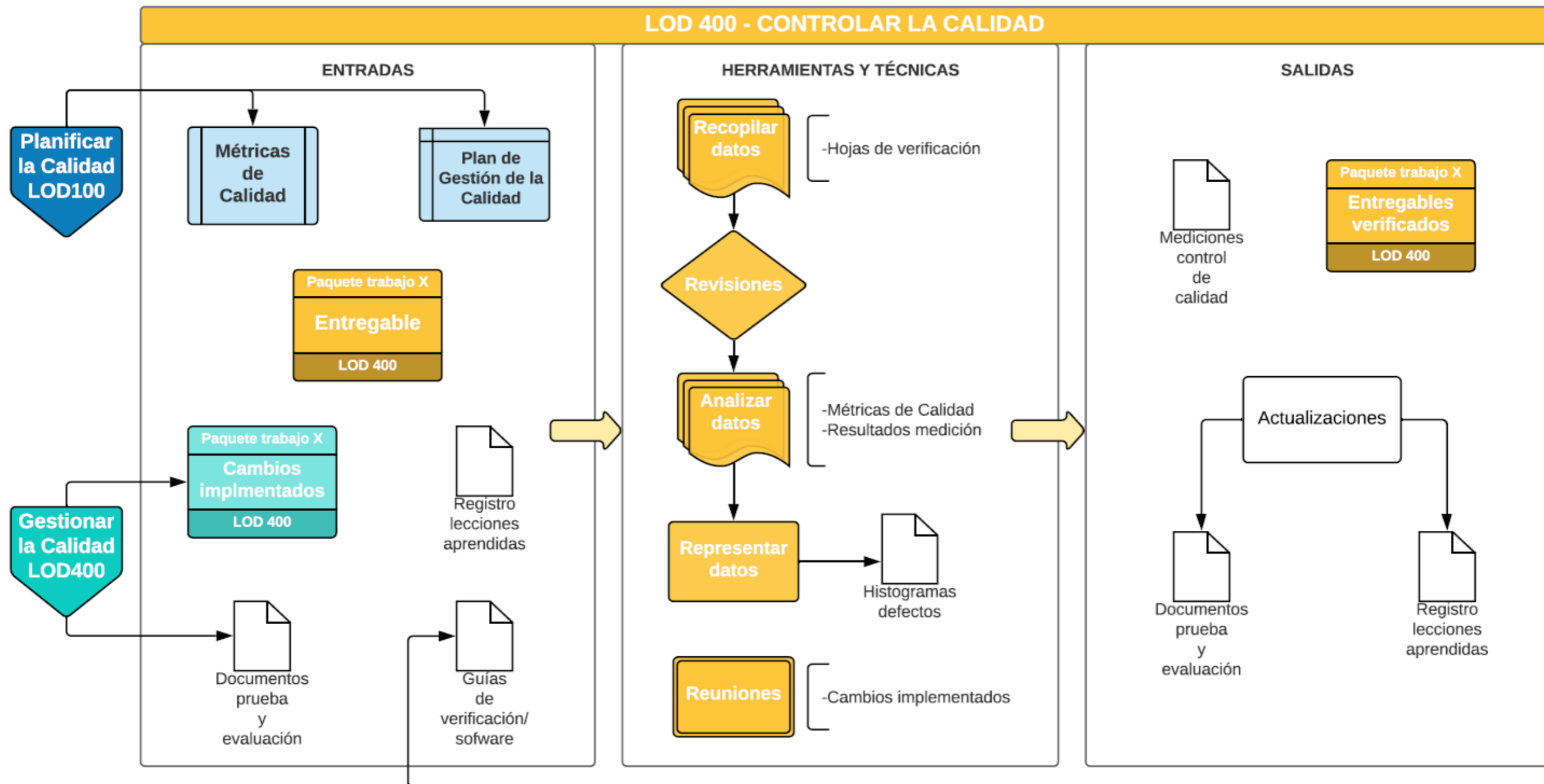


Ilustración 29: Esquema proceso, LOD 400 – Controlar la Calidad (Elaboración propia).

2.4.8. LOD 500

Como ya presentamos anteriormente, LOD 500 se corresponde con un modelo del edificio ya construido. Su uso está vinculado al futuro y permite iniciar las operaciones de mantenimiento, entrando en el alcance del promotor y usuario final.

Según Dr. Isidro Cortés Albalá (Profesor Titular de la Universidad de Sevilla), es un nivel que aún está abierto al desarrollo y su utilización actual queda reducida a algunos edificios públicos en los que la administración pide el modelado a tal nivel para concertar a empresas privadas la gestión del mantenimiento del edificio durante su uso.

Para enfocar la Guía de Gestión de la Calidad, hemos de centrarnos en aquello que ha de modelarse para ampliar LOD 400 a LOD 500. El Profesor, a su vez, nos cuenta que LOD 500 se compone del modelo pre-construcción, y en adición, modificaciones que hayan podido surgir como consecuencia de la construcción y una base de datos que cuenta con toda la información acerca de los sistemas de instalaciones, especificaciones de productos y materiales empleados, manuales de mantenimiento, estado actual de sistemas y elementos, etc.

Así, el criterio válido será definido por la propiedad y los requerimientos BIM (aún en desarrollo). Ambos aspectos serán considerados como una serie de requisitos en Planificar la Calidad al principio de la guía.

En cuanto a los procesos actuantes en este nivel para la gestión de la calidad, de la misma forma que en LOD 400 necesitamos de documentos que nos aportaran información acerca de implantación y puesta en obra para generar las hojas de verificación adecuadas durante Gestionar la Calidad, ahora será imprescindible contar con entradas como:

- Registro de modificaciones en obra: durante la ejecución de la obra, todas las variaciones conforme al proyecto en sistemas o elementos constructivos, materiales y productos han de ser registrados como en la *Tabla 6*, con el objetivo de confeccionar el modelo "as built" y tenerlos en cuenta para orientar los documentos de prueba y evaluación.

REGISTRO DE MODIFICACIONES EN OBRA				
Proyecto:	'La Geria'			
Descripción:	Vivienda unifamiliar aislada			
Modificaciones	Descripción	Fase	Responsable	Acciones
Armado viga 13	Cambio disposición por falta recubrimiento	Estructuras	Modelador X	Disponer 3Ø20 a tracción
Impermeabilización cubierta	Cambio modelo de lámina por no disponibilidad	Cubiertas	Modelador X	Sustituir por Danosa Esterdan 30P.ELAST
...				

Tabla 6: Ejemplo de registro de modificaciones en obra (Elaboración propia).

- Información específica de instalaciones, productos y materiales empleados, manuales/instrucciones de mantenimiento, e información de estado actual.

Las mediciones de calidad se realizarán acorde al proceso Controlar la Calidad, de la misma forma que en niveles anteriores.

CONCLUSIONES:

Por último, para modelar adecuadamente este LOD 500 han de definirse los criterios que el Promotor/Project Manager exige y, junto con los requerimientos de la metodología *BIM* (en actual desarrollo), establecer los determinados requisitos en Planificar la Calidad.

Los procesos que intervienen en este nivel serán Gestionar la Calidad y Controlar la Calidad en base a la interacción de la *Ilustración 22*. Para realizar las mediciones de calidad durante el proceso de control, en Gestionar la Calidad se estudiarán como entradas las modificaciones ejecutadas en obra y la información relativa a sistemas, materiales y productos para enfocar los documentos de prueba y evaluación sobre los que se realizarán las mediciones de calidad del modelo durante el proceso de control.

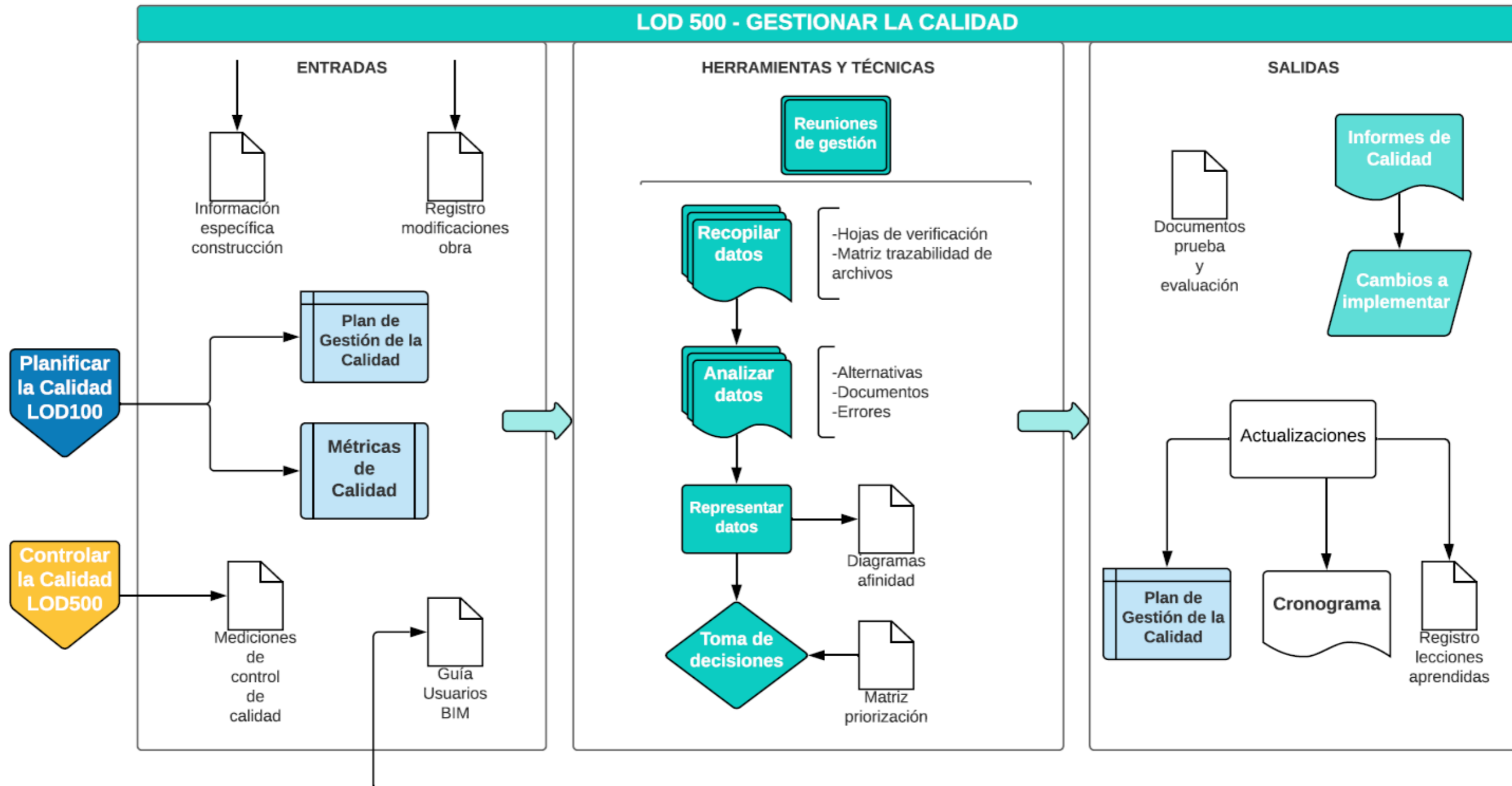


Ilustración 30: Esquema proceso, LOD 500 – Gestionar la Calidad (Elaboración propia).

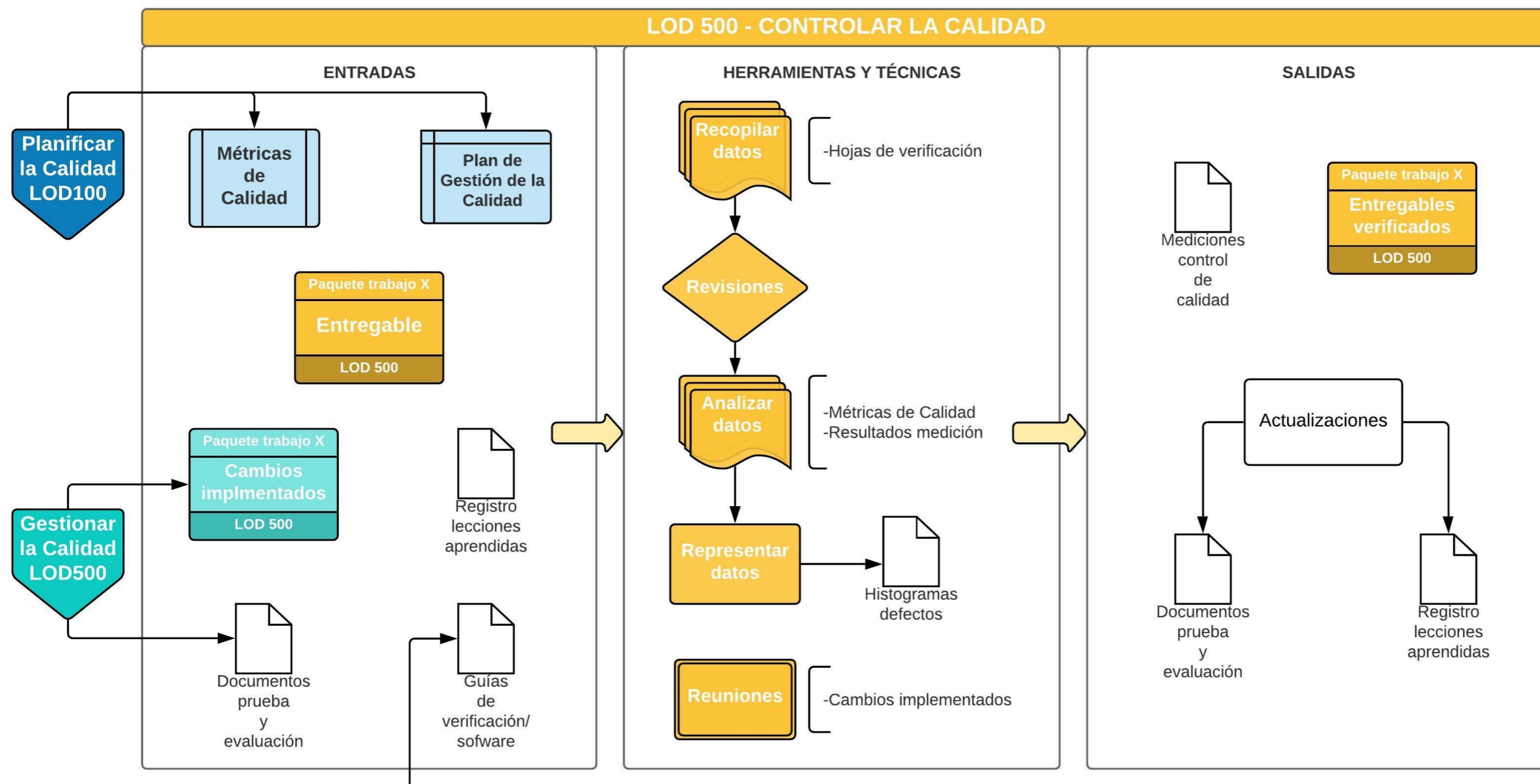


Ilustración 31: Esquema proceso, LOD 500 – Controlar la Calidad (Elaboración propia).

3. RESULTADOS DEL TRABAJO

3.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para el análisis de los resultados nos remitiremos a la *Ilustración 32* que se presenta tras el texto.

La Guía de Gestión de la Calidad, enfocada desde el "Project Management Body of Knowledge" o "PMBOK" (Project Management Institute, 2013), ha dado una línea a seguir para aquellos que pretendan llevar a cabo un control en la utilización *BIM* para el modelado de un determinado proyecto.

La primera premisa ha sido realizar una planificación de lo que será el proceso a lo largo de los trabajos. Esta, como es obvio, se ha ubicado en etapas tempranas del proyecto, en concreto LOD 000 y LOD 100 (niveles de desarrollo del modelo). En ellas se da comienzo al proyecto y se desarrolla un primer diseño conceptual, de donde se obtiene toda la información necesaria para enfocar el trabajo de modelado y garantizar que los entregables correspondientes a cada nivel de desarrollo cubrirán las necesidades para las que son requeridos, atendiendo a requisitos (de intervinientes y de la propia metodología *BIM*), supuestos y alcance del proyecto.

Como resultado de esta planificación, se generan el Plan de Gestión de la Calidad y las Métricas de Calidad. En el primero se fijan los objetivos que se deben alcanzar con este método, los estándares de calidad, los entregables necesarios que han de verificarse y los procedimientos para ello; mientras que en las segundas se establecen los atributos sobre los que se analizarán los resultados del control para llegar a conclusiones.

Continuando en fase de diseño, en LOD 200 y LOD 300/350, esta guía ha planteado la gestión y el control de calidad en las labores de modelado, siguiendo las directrices planteadas en la planificación anterior. Para ello, se ha visto necesario plantear unos documentos de prueba y evaluación en base a los cuales realizar las mediciones de control de calidad para dar por correctos o incorrectos los entregables. Atendiendo a los resultados, una correcta gestión debe llegar a conclusiones plasmadas en informes de calidad, planteando acciones correctivas y modificaciones en los métodos de trabajo, que servirán al *BIM Manager* y a su equipo para optimizar los procedimientos de modelado y ejecutar mejores entregables.

Dando entrada a la fase de ejecución del proyecto, en LOD 400, para obtener unos documentos de prueba y evaluación sólidos sobre los que realizar el control de calidad del modelo en cuanto a fabricación y montaje, la guía considera oportuno atender a catálogo del fabricante, instrucciones de instalación y puesta en obra, y plan de seguridad y salud del contratista. El procedimiento para la gestión y el control es igual al anterior, pero generando unos documentos de prueba y evaluación efectivos al caso, en esta fase y en este nivel de desarrollo.

Una vez construido el edificio, ocurre lo mismo que en fase de ejecución. Para las futuras operaciones y mantenimiento con utilización *BIM* en fase de uso del edificio, se requiere un modelo "as-built". Este ha de ser idéntico al edificio construido y, además, cuente con toda la información real de productos, sistemas, instalaciones y materiales empleados, e instrucciones de mantenimiento. Es por ello, que la guía sugiere considerar esta información

para basar los documentos de prueba y evaluación sobre los que verificar los entregables del nivel actual.

En la siguiente ilustración podemos ver el resultado de la investigación, un esquema general de la Guía de Gestión de la Calidad.

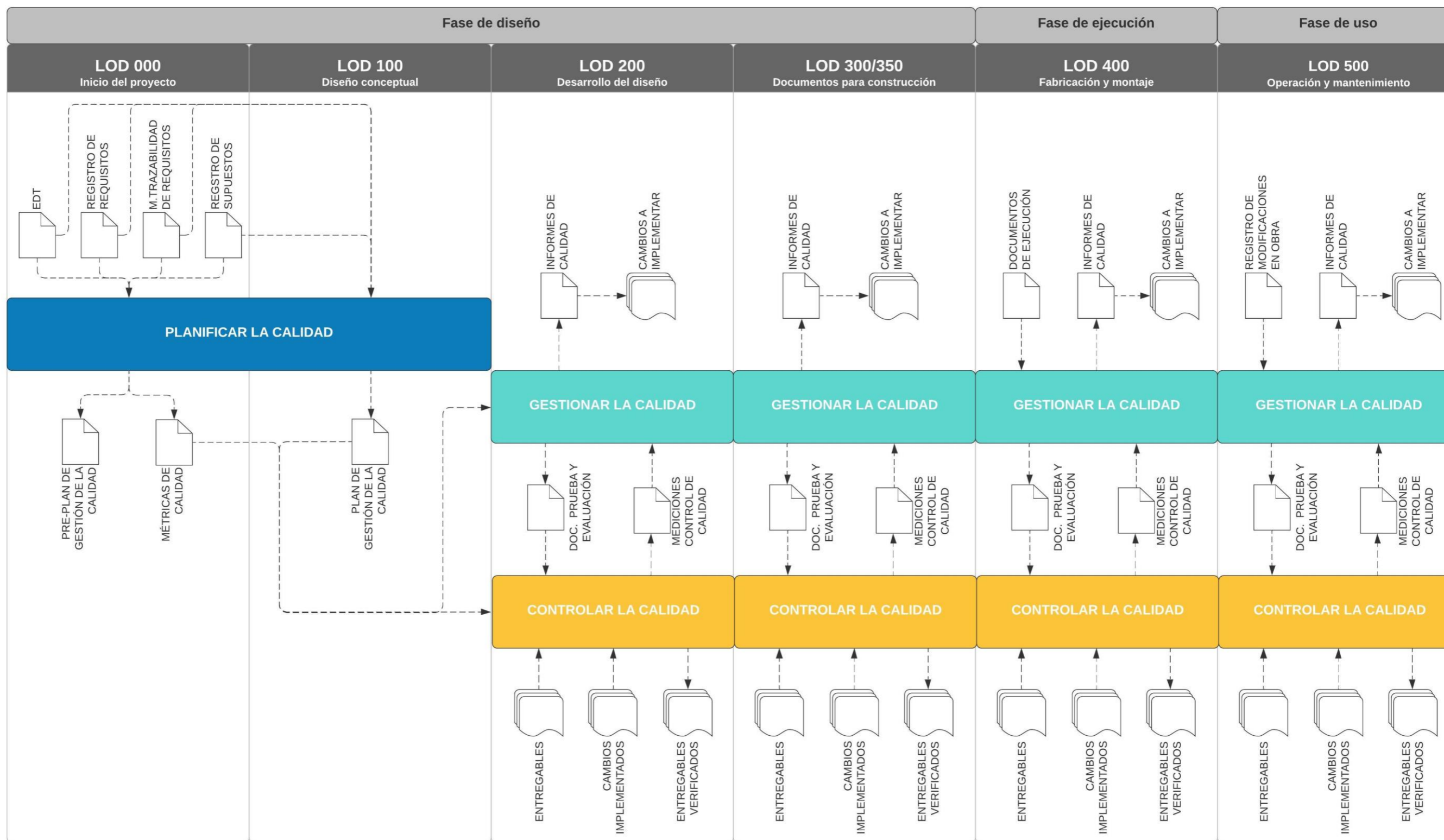


Ilustración 32: Esquema general de la Guía de Gestión de Calidad

3.2. CONCLUSIONES

Para el desarrollo de la investigación, comenzando, ha sido necesario contextualizar y conocer la situación actual del sector de la construcción. Como dicen, un texto sin contexto es un pretexto.

De este objetivo general que teníamos como premisa, podemos concluir en que el sector de la construcción se posiciona desfavorablemente, con respecto a otras industrias, en la aplicación tecnológica y metodológica. Esto se debe a que su implantación conlleva unos costes, de los cuales se opina que son un gasto innecesario de tiempo y dinero que contrasta difícilmente con el procedimiento tradicional de construir lo más rápido posible. Sin embargo, esta tendencia está cambiando y actualmente ya podemos decir que la industria de la construcción avanza en el emprendimiento tecnológico y metodológico: proyectando con solidez para construir con eficacia, evitando contratiempos a pie de obra que repercutirían en tiempo y dinero.

Continuando, se ha expuesto información acerca de las metodologías *BIM* y *Project Management*. Ambas en auge y desarrollo, destinadas a convivir en una industria en pleno cambio. A partir de su estudio y posterior análisis de los resultados, podemos decir que son compatibles y mutuamente beneficiosas: en este caso, la metodología *BIM* para el modelado de un determinado proyecto es apoyada por los fundamentos del PMBOK para llevar a cabo una Gestión de Calidad, otorgando al equipo *BIM* unas directrices y procedimientos para asegurar la correcta confección del modelo.

Más en profundidad, ya en la Guía de Gestión de Calidad, el procedimiento consta de tres procesos fundamentales que se reparten a lo largo del ciclo de vida del proyecto en base a los LODs. El resultado de su ubicación nos lleva a destacar la importancia de, en fases tempranas del proyecto, planificar detenidamente la estrategia de trabajo para el desarrollo del modelo y así evitar improvisaciones que conduzcan a retrabajos. Concluyendo, atender a las necesidades del Project Manager/Promotor, requerimientos de la metodología y objetivos del proyecto resulta fundamental para, posteriormente, obtener un producto del trabajo que sacie su propósito.

Luego, de la gestión y el control de calidad ha sido importante conocer la diferenciación entre ambos procesos. En cuanto a esto podemos decir que, aunque en la práctica se realicen conjuntamente debido a la alta interacción que existe entre ellos, los límites y finalidades son esenciales para la concepción del método.

Otra conclusión importante tiene que ver con el propio avance del proyecto, en el que al término de la fase de diseño comienza la fase de ejecución. En este momento cambia drásticamente la figura que se beneficia directamente del modelo: mientras que en fase de diseño el Project Manager/Promotor se aprovecha de los usos BIM para la viabilidad del proyecto y la visualización de la maqueta virtual, en fase de ejecución es la empresa contratista/constructora quien obtiene el fruto del modelo para la construcción del edificio (también el Promotor se beneficia de que la constructora cuente con esta herramienta para la edificación, suponiendo mejor calidad en la ejecución de su propiedad y menor retraso).

Terminando, podemos recalcar que la metodología BIM está en desarrollo y por ello aún no existe demasiada información sobre la implantación de LOD 500, pudiendo adquirir únicamente opiniones y definiciones conceptuales. Por esta circunstancia, concluyo, el

alcance de los resultados llega hasta la realización del modelo “as built”, trabajo el cual requiere de la gestión de calidad para que la implantación de *BIM* en el campo de operación y mantenimiento del edificio cuente con un modelo adaptado a tal funcionalidad.

3.3. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

La Guía de Gestión de la Calidad proporciona la base para una posible futura aplicación al modelado de un proyecto real, en donde el modelo se pueda adaptar a la determinada estructura del equipo de modelado y resto de intervinientes del proyecto. Además, estará sujeta a actualización y mejora continua a través de la práctica.

Por ello, y teniendo en cuenta los resultados y conclusiones de la investigación, se proponen las siguientes líneas de investigación:

- Desarrollo del Plan de Gestión de Calidad para implantación práctica a un proyecto real.
- Desarrollo de documentos de prueba y evaluación personalizados a un caso práctico real, como hojas de verificación.
- Definir la estructura de los informes de calidad y desarrollarlos en un caso práctico atendiendo a resultados reales de mediciones de calidad.
- Desarrollar y definir la estructura organizacional, definiendo responsables, funciones y límites para la gestión de calidad.

4. REFERENCIAS

Alliance, B. (2011). BIM project execution planning guide. *The Computer Integrated Construction Program, Pennsylvania State Univ., University Park, PA.*

Alonso, J. (2015). Nivel de desarrollo LOD. Definiciones, innovaciones y adaptación a España. *Spanish Journal of Building Information Modeling*, (15), 40-56.

BIMForum, A. G. C. (2019). Level of development specification. *BIM Forum*.

Carbonari, G., Ashworth, S., & Stravoravdis, S. (2015). How Facility Management can use Building Information Modelling (BIM) to improve the decision making process.

Haughey, D. (2012). Breve historia sobre la administración de proyectos. Recuperado de http://www.liderdeproyecto.com/manual/breve_historia_sobre_la_administracion_de_proyectos.html.

Latiffi, A. A., Brahim, J., & Fathi, M. S. (2014). The development of building information modeling (BIM) definition. In *Applied mechanics and materials* (Vol. 567, pp. 625-630). Trans Tech Publications Ltd.

Latiffi, A. A., Brahim, J., Mohd, S., & Fathi, M. S. (2015). Building information modeling (BIM): exploring level of development (LOD) in construction projects. In *Applied Mechanics and Materials* (Vol. 773, pp. 933-937). Trans Tech Publications Ltd.

Pampliega, C. J. (2013) Breve historia de la gestión de proyectos. Recuperado de <http://salineropampliega.com/2013/02/breve-historia-de-la-gestion-de-proyectos.html>.

Project Management Institute. (2016). Construction Extension to the PMBOK' Guide. *Project Management Institute, Inc.*

Project Management Institute, I. (2013) La guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK). *Project Management Institute, Inc.*

Smart, B. (2014). Guía de usuarios BIM. *Building Smart Spanish Chapter*.

YEPES, V.; MARTÍ, J.V.; GONZÁLEZ-VIDOSA, F.; ALCALÁ, J. (2012). Técnicas de planificación y control de obras. Editorial de la *Universitat Politècnica de València*. Ref. 189. Valencia, 94 pp. Depósito Legal: V-423-2012.

[Concepto BIM] (2016) descargado de <https://www.esbim.es/>

[Niveles de desarrollo BIM en Reino Unido] (sin fecha) descargado de <http://biblus.accasoftware.com/es/niveles-de-desarrollo-bim-en-el-reino-unido-se-acerca-la-meta-del-3o-nivel-para-el-2020/>