

DATOS BIM: PROPUESTA DE ELEMENTOS DE LA CALIDAD Y MÉTODO DE CONTROL

FRANCISCO JAVIER ARIZA LÓPEZ ¹, IÑIGO ARIZA LÓPEZ ²

¹Departamento: Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría.
Universidad de Jaén. España

fjariza@ujaen.es

²Departamento construcciones arquitectónicas I.
Universidad de Sevilla. España

inigoariza@us.es

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es proponer un modelo de calidad para los datos BIM (*Building Information Modelling*) y también un método para su control de calidad. La propuesta del modelo de calidad se realiza basada sobre dos bases: la experiencia en el campo de los datos espaciales (ISO 19157) y la experiencia en el campo de los datos de producto (ISO 8000). La propuesta del método de control se realiza sobre el método desarrollado por el NIST (*National Institute of Standards and Technology*) de los Estados Unidos. Se presentan y desarrollan las bases estadísticas del método NIST y se incluyen ejemplos que permiten entender su aplicación en controles bien sobre variables, atributos o sobre variables y atributos de manera conjunta. Se realiza un análisis crítico de las dos propuestas. En el caso del modelo de calidad, se destaca su grado de inmadurez y la necesidad de contrastarlo en aplicaciones reales, y para el caso del método NIST su escaso grado de formalización.

Palabras clave: BIM, control de calidad, plan de aceptación, método NIST.

BIM DATA: PROPOSED ELEMENTS OF QUALITY AND CONTROL METHOD

ABSTRACT

The objective of this work is to propose a data BIM control quality and a control quality method. The proposed method rests on two points: the experience gained in the field of spatial data (ISO 19157) and the experience acquired in the field of product data quality (ISO 8000). Proposed control method is developed on the basis of the NIST U.S.A method. Statistical basis of the NIST method are shown and developed. Authors included examples to understand its application to

control either variables, attributes or variables together with attributes. A critical analysis of the two proposals is performed. In the case of the quality model, is remarkable the degree immaturity and the need to verify with real applications; and in the case of NIST method the low degree of formalization.

Keywords: BIM, quality control, acceptance plan, NIST method.

1. Introducción

En la arquitectura, hoy en día está teniendo lugar la revolución BIM (Building Information Models). Como indica Weygant (2011), es una gran transición cuando se proviene del mundo de los CAD (Computed Aided Design). La diferencia primordial destacada por varios autores en relación al CAD es la perspectiva que aporta la "I" de información, que es lo que diferencia ambas tecnologías.

Los modelos BIM, o conjuntos de datos BIM, son una información digital de base geométrica enriquecida temática, semántica y relacionalmente que, manejados por las herramientas de software adecuadas, permiten una gestión más inteligente (eficiente y eficaz) de las edificaciones y las instalaciones. Los BIM se crean tanto para edificaciones (p.ej. colegios, hospitales) y obras de ingeniería (p.ej., puentes, túneles, refinerías) como para sus instalaciones (p.ej. agua, electricidad, gas), reflejando el interior, el exterior o ambos. Esta tecnología es de gran interés para empresas y administraciones; con ellas se dispone de un modelo digital que se utilizará en la gestión y mantenimiento del bien a lo largo de toda su vida, y en toda la línea de inteligencia aplicada a las infraestructuras (p.ej., edificios inteligentes). En algunos países existe ya la exigencia legal de entregar modelos BIM para ciertos tipos de inversiones públicas (p.ej. EEUU, Finlandia, UK) y, en el caso de Europa, se considera que, con el nuevo marco regulador de las contrataciones públicas establecido por la Directiva 2014/24 (UE 2014), también serán exigibles. Por otra parte, es de destacar que en ciertos países como el Reino Unido (DBB 2015) el auge de los modelos BIM está estrechamente ligado a una estrategia de revitalización del sector y de contención del gasto.

Los modelos BIM son conjuntos de datos 3D que pueden proceder de un diseño *ex novo* o reflejar una realidad ya existente. En este último caso, la disponibilidad se ha visto muy facilitada con el advenimiento de los sistemas LET (Láser Escáner Terrestre). Los sistemas LET permiten obtener modelos fieles a la realidad de exteriores e interiores de edificaciones por medio de nubes de puntos 3D. Tang y col. (2010) realizan una de las mejores introducciones a todos los aspectos tecnológicos de la creación de modelos BIM. Los autores explican numerosos aspectos del proceso: tecnologías para la creación de modelos BIM, técnicas de representación del conocimiento, de modelado geométrico, de reconocimiento de objetos, etc.

La columna vertebral de los BIM es comprender las relaciones entre materiales, objetos, ensamblados y proyectos (Weygant, 2011). Todos estos elementos están gestionados por una herramienta BIM como objetos, en el sentido de la programación orientada a objetos. Eso significa que los materiales, objetos, ensamblados y proyectos tienen propiedades, métodos, eventos y

relaciones. Pero los objetos no sólo son el camino por el cual la información es manejada por los programas de bases de datos, los objetos son también la manera de entender y organizar el mundo. En un BIM los objetos portan información sobre: la identidad, la apariencia, el comportamiento, el uso, la edad, la ubicación, los componentes, las restricciones o reglas, etc. Algunas de estas propiedades actúan como parámetros base (p.ej., longitud, altura y ancho) en la creación paramétrica de una instancia específica de un tipo de objeto determinado. Toda esta información es gestionada por la herramienta BIM como una base de datos; en realidad, una herramienta BIM es poco más que un sistema de gestión de base de datos con una interfaz gráfica de usuario (Weygant, 2011). Desde nuestro punto de vista, los objetos que gestionan los sistemas informáticos BIM deben llevar información sobre calidad (p.ej., relativa a la calidad de su componente posicional, temática o temporal), ya sea como atributos, de manera directa, o mediante un enlace a unos metadatos externos como proponen Wagner y col. (2013) para el caso de modelos *CityGML* (modelo de información común para la representación de conjuntos de objetos urbanos en 3D, basado en el estándar *Geography Markup Language 3* o *GML3*). En cualquier caso, esta información debe organizarse de alguna manera y ser útil.

Los materiales usuales en la arquitectura e ingeniería civil (hormigón, madera, acero, vidrio, etc.) son los elementos básicos de la construcción. Estos materiales tienen propiedades físicas, químicas, visuales, táctiles, etc., propiedades que son, total o parcialmente transferidas, a los objetos en los que se agregan o ensamblan.

Los objetos y los ensamblados se diferencian en la forma en que se crean, implementan y gestionan en un proyecto, pero en realidad son muy similares. Los objetos son componentes separados, tales como una puerta, una ventana; y los ensamblados son grupos de objetos que trabajan conjuntamente para crear un componente más complejo, en un determinado nivel de detalle, que se puede manejar como un objeto. Ejemplos de componente son: paredes, suelos, techos, etc. Una ventana (marco + vidrio + persiana) también pueden ser considerados como un ensamblado, y esto depende del nivel de detalle con el que se trabaje.

Los proyectos son los modelos BIM. Sería mejor utilizar "proyecto" para referirse a cómo se gestionan los modelos en un paquete de software y el uso de "modelo" para referirse estrictamente al conjunto de ensamblados que conforman y dan sentido a una edificación.

Cada uno de estos elementos (materiales, objetos, ensamblados y proyectos) requiere de datos (atributos) para especificarlo. Por ejemplo, para un objeto o un ensamblado:

- Identificación: ¿de qué producto es?
- Proceso: información sobre el linaje.
- Desempeño: ¿cómo es de bueno, de eficiente, etc.?
- Restricciones y reglas: indicación de las limitaciones y de las reglas que ha de cumplir.
- Instalación: ¿cómo se instala?
- Apariencia: ¿cómo se observa, qué parece?
- Ciclo de Vida / sostenibilidad: ¿cómo se realiza el mantenimiento?

En relación a la calidad de los datos BIM, Elberink y Vosselman (2011) apuntan el escaso conocimiento sobre los aspectos de la calidad en BIM, y el escaso conocimiento sobre los requisitos de los usuarios. Elberink (2010) indica que la calidad de un modelo BIM se compone de múltiples índices y que estos no se pueden resumir fácilmente en uno único; además el autor sugiere que los parámetros de calidad deberían ir anejos a los datos. Por su parte, Tang y col. (2011) presentan un método visual de control de calidad. Anil y col. (2011) proponen un sistema de aseguramiento de la calidad de los modelos BIM basado en comparar visualmente las diferencias entre las nubes de puntos originales con los elementos del BIM (fundamentalmente planos). Esta técnica la denominan visualización de mapas de desviaciones. Sin embargo, como reconocen los autores, las capacidades de los programas actuales limitan las posibilidades de visualización, medición de las desviaciones, la interoperabilidad y el rendimiento frente a grandes conjuntos de datos. Desde una perspectiva más aplicada, manuales sobre BIM, como el de la ciudad de Nueva York (BYCB 2013), sólo establecen los requisitos de entrega que han de cumplir los ficheros en cuanto a su formato.

Por otra parte, todo lo indicado en relación a los conjuntos de datos BIM tiene un parecido general a lo que sucede en:

- El campo de datos espaciales. Los datos espaciales o Información Geográfica (IG) son los datos básicos de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y de las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE). Lo característico del dato espacial es poseer una posición respecto a un sistema de referencia, pero también acarrear atributos, relaciones, etc., y son modelados y gestionados por herramientas basadas en la programación orientada a objeto.
- El campo de datos del producto. Dato de producto significa información que incluye, entre otras, el diseño, datos alfanuméricos, modelos, información de piezas, instrucciones de fabricación, requisitos, notas, documentos, etc. Gran parte de la información (p.ej., relativa a ventanas, perfiles de acero, tuberías, elementos eléctricos, motores, etc.) incorporada en un conjunto de datos BIM puede ser considerada como datos de producto, es decir, una información sobre un producto de una manera formal adecuada para la comunicación, interpretación o procesamiento por seres humanos o por las computadoras.

La propuesta que se realiza en este trabajo va en una doble línea. La primera consiste en proponer un conjunto de elementos de la calidad de datos BIM, tal que permitan definir su calidad desde una perspectiva múltiple y adecuada a las necesidades. Esta formulación se propone como un ejercicio de síntesis entre de las propuestas ya existentes en los campos de la IG y de los datos de producto. Sin embargo, como bien indican (Yang y col. 2013), la calidad de datos es algo difícil de definir de manera precisa, y además, significa cosas distintas para comunidades de usuarios distintas. Por ello, en este trabajo, junto a la propuesta que se realiza se presentan ejemplos sencillos y claros propios del ámbito BIM al objeto de transmitir mejor la idea de cada elemento de la calidad. En la segunda línea se propone un marco estadístico para el control de la calidad de los elementos propuestos. En este caso, se toma como base un método ya existente y usado en BIM. El objetivo último de este trabajo es proponer un sistema consistente para definir, evaluar y controlar la calidad de datos BIM.

Una vez presentado el concepto de datos BIM y algunos antecedentes sobre calidad, este artículo se organiza en los siguientes apartados: en el apartado 2 se tratará la calidad de datos desde la perspectiva de dos campos cercanos (datos de producto y datos espaciales), donde se materializará una propuesta apoyada con ejemplos; en el apartado 3 se esbozarán las bases de los planes de aceptación por muestreo y se presentará el método propuesto por el NIST (*National Institute of Standards and Technology*), aquí se formulan sus bases estadísticas, que no están publicadas, y se presentan algunos ejemplos; el apartado 4 plantea un breve análisis crítico sobre los dos aspectos de la propuesta y, finalmente, en el apartado 5 se expondrán las principales conclusiones.

2. Calidad de datos y experiencias en campos cercanos

El proponer un modelo marco para la calidad de los datos, independiente de cualquier dominio específico, entre otros, significa:

- Identificar los problemas de mala calidad que pueden existir.
- Definir los aspectos de la calidad de datos.
- Determinar las componente/categoría de la calidad de datos.
- Especificar los aspectos de cada componente.
- Establecer cómo medir esos aspectos.
- Establecer cómo controlar y mejorar la calidad.

Desarrollar todos estos aspectos implica un trabajo muy extenso y que debe ser abordado por grupos de trabajo de especialistas en cualquiera de los posibles foros (p.ej., cuerpos normativos, consorcios, asociaciones profesionales, etc.), por ello el propósito de este documento es realizar una primera propuesta relativa a la identificación de las componentes o categorías de la calidad de datos BIM y, para ello, se tomarán como punto de partida las experiencias existentes en otros campos de la tecnología de datos.

Como ya se ha indicado, consideramos que los conjuntos de datos BIM están conceptualmente muy cerca de la IG y de los datos de producto. Por ello en este trabajo se analiza la aplicación de los aspectos de la calidad que se consideran en el caso de la IG al caso BIM. En este sentido se presentará la calidad de los datos desde la perspectiva de la norma internacional ISO 19157 (ISO 2013a). Para el caso de los datos de producto se adoptará la perspectiva de la norma internacional ISO 8000 (ISO 2011-2015).

2.1. Calidad de datos desde la perspectiva de la Información Geográfica

Los conjuntos de datos BIM están conceptualmente muy cercanos a la IG por lo que los aspectos relativos a la calidad también han de estarlo. Este parecido es tanto conceptual (modelos de datos), como factual (p.ej., procedimientos de captura y procesado). Esta cercanía permite una aproximación ventajosa dado que en el campo de la IG se posee una gran experiencia en todo lo relativo a la calidad de datos.

La Norma Internacional ISO 19157 establece los principios para la descripción de la calidad de la IG. En ella se:

- definen las componentes para describir la calidad de datos;
- especifican las componentes y una estructura de contenidos para un registro de medidas de la calidad de datos;
- describen los procedimientos generales para evaluar la calidad de datos;
- establecen principios para la presentación de informes de calidad de datos.

El modelo conceptual propuesto por esta norma abarca las cuatro acciones que se han indicado anteriormente. La actor clave es el "elemento calidad de datos" que debe ser reportado y relacionado con un alcance o ámbito específico. Para ello, la calidad de datos se expresa mediante elementos de calidad descritos por las medidas, el proceso de evaluación de la calidad, los resultados y la metacalidad.

Para ISO 19157 un elemento de calidad de datos es un componente que describe un determinado aspecto de la calidad de los datos geográficos. Los elementos se han organizado en diferentes categorías de la siguiente forma:

- **Compleción.** Se define como la presencia y ausencia de objetos geográficos, sus atributos y relaciones. Está compuesta por dos elementos de la calidad de los datos:
 - comisión: datos excedentes presentes en un conjunto de datos;
 - omisión: datos ausentes de un conjunto de datos.
- **La consistencia lógica.** Es el grado de adherencia a reglas lógicas de la estructura de los datos, de los atributos y de las relaciones (la estructura de los datos puede ser conceptual, lógica o física). Se distinguen cuatro elementos de la calidad de los datos:
 - consistencia conceptual: adherencia a las reglas del modelo conceptual;
 - consistencia de dominio: adherencia de los valores a su dominio;
 - consistencia de formato: grado en el que los datos se almacenan de acuerdo con la estructura física del conjunto de datos;
 - consistencia topológica: corrección de las características topológicas codificadas explícitamente.
- **La exactitud posicional.** Es la exactitud de la posición de objetos geográficos en un determinado sistema de referencia espacial. Está compuesta por los siguientes elementos de la calidad de los datos:
 - Exactitud absoluta o externa: proximidad de los valores de coordenadas reportados a los valores verdaderos o aceptados como tales,
 - Exactitud relativa o interna: proximidad de las posiciones relativas de los objetos geográficos de un conjunto de datos a sus respectivas posiciones relativas verdaderas o aceptadas como tales,
 - Exactitud posicional de datos en malla: proximidad de los valores de posición de los datos en estructura de malla regular a los valores verdaderos o aceptados como tales.
- **La exactitud temática.** Es la exactitud de los atributos cuantitativos, la corrección de atributos no cuantitativos y la corrección de clasificaciones de objetos geográficos y sus relaciones. Está compuesta por tres elementos:

- Corrección de la clasificación: comparación de las clases asignadas a los objetos geográficos o a sus atributos, con respecto a las que le corresponden en una fuente de referencia;
- Corrección de atributo no cuantitativo: indica de si un atributo no cuantitativo es correcto o incorrecto;
- Exactitud de atributo cuantitativo: proximidad del valor de un atributo cuantitativo a un valor verdadero o aceptado como tal.
- La calidad temporal. Es la calidad de los atributos y de las relaciones temporales de los objetos geográficos. Está compuesta por tres elementos de la calidad de los datos:
 - exactitud de una medida de tiempo: proximidad de las medidas de tiempo reportadas a los valores verdaderos o aceptados como tales;
 - consistencia temporal: corrección del orden de los eventos;
 - validez temporal: validez de los datos con respecto al tiempo.
- Usabilidad. Representa las necesidades del usuario. Todos los elementos de calidad pueden ser utilizados para evaluar la usabilidad. Evaluación de usabilidad se puede basar en las necesidades específicas de los usuarios que no se pueden describir utilizando los elementos de calidad descritos anteriormente.

En la línea de aplicación del conocimiento sobre calidad de datos espaciales al caso de datos BIM destaca el trabajo de Sargent y col. (2007), uno de los primeros estudios cuyo objetivo es determinar las características de interés para el usuario BIM. Sin embargo, en este trabajo distinguen sólo dos componentes de interés: la exactitud posicional relativa y la exactitud posicional absoluta, a la que añade la fidelidad geométrica, elemento no contemplado en ISO 19157, pero que puede formalizarse como un nuevo elemento.

2.2. Calidad de datos desde la perspectiva de los datos de producto

La norma internacional ISO 8000 (partes 1, 2, 100, 120, 130, 140, etc.) se centra en la capacidad de crear, recoger, almacenar, conservar, transferir, procesar y presentar datos para apoyar los procesos de negocio de una manera oportuna y rentable. Según la norma, este propósito requiere comprender de las características que determinan la calidad de los datos pero también la capacidad de medir, gestionar e informar sobre esa calidad, como vemos, fines semejantes a los de ISO 19157. ISO 8000 propone un sistema para gestionar los aspectos de la calidad de datos de productos industriales a lo largo de todo el ciclo de vida, desde la concepción hasta la eliminación. ISO 8000 aborda datos de tipos específicos, incluyendo, pero no limitado a, datos maestros, datos de transacciones, y datos del producto.

La Figura 1 ofrece una visión general de la arquitectura propuesta, la cual es aplicable a todas las partes de familia de normas ISO 8000 publicadas hasta ahora. Las relaciones entre los datos y otros elementos (diccionario de datos, especificaciones de datos, sintaxis formal y esquema de identificación) pueden considerarse válidas para IG. Desde el punto de vista de nuestro interés, el foco debe colocarse sobre los elementos de la calidad que acompañan a los datos: procedencia, exactitud e integridad de datos.

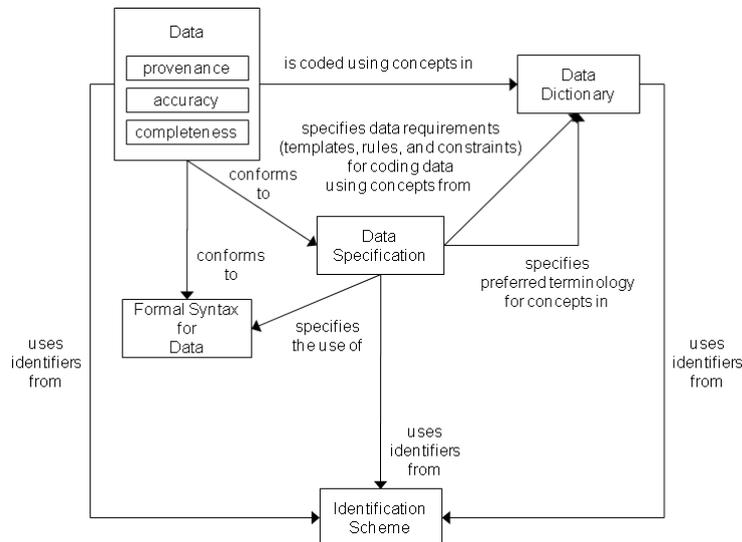


Figura 1 – Vista general de la arquitectura propuesta en ISO 8000 (fuente ISO 8000).

Las definiciones que ofrece esta norma son:

- **Exactitud.** Grado de concordancia entre el valor de la propiedad y el valor verdadero.
- **Integridad.** Calidad de disponer de todos los datos que existían en posesión del remitente en el momento de creación del mensaje de datos.
- **Procedencia.** Esta definición no se incluye en la regla. Procedencia se refiere a la capacidad de rastrear y verificar la creación de datos, la forma en que se ha utilizado o movidos entre diferentes bases de datos, así como alterados largo de su ciclo de vida.

Para cada uno de estos elementos la norma exige la existencia de un registro en el que se almacenan datos relativos a cada uno de ellos, por ejemplo, el registro de procedencia de datos guarda información relativa a la última derivación y el paso de un dato a través de sus distintos propietarios o custodios. Un registro de procedencia de datos puede incluir información acerca de la creación, actualización, transcripción, abstracción, validación y transferencia de propiedad de los datos.

2.3. Propuesta de elementos de calidad para datos BIM

Las dos normas presentadas (ISO 19157 e ISO 8000) ofrecen dos puntos de vista diferentes (modelo, definiciones, gestión, etc.) sobre la calidad de datos, y ambos son de interés en el campo BIM y están relacionados pues se focalizan en el mismo objetivo. Además, hay otras normas relacionadas con la calidad de los datos (por ejemplo, ISO/TR 21707 (ISO 2.008a), ISO / IEC 25012 (ISO 2008b) y la situación es similar. Esta circunstancia es habitual en las normas ISO.

Todos los estándares desarrollados por ISO, y en fase de desarrollo, se centran en algunas áreas específicas, por ejemplo, fabricación, transporte inteligente, la geografía, y así sucesivamente. Sin embargo, echamos de menos un modelo o marco general para la calidad de datos, independiente de cualquier dominio particular o aplicación. Los modelos de calidad de datos existentes son propios de dominios específicos y difieren en perspectiva, dimensiones, atributos, mediciones, evaluaciones y demás.

Como se indicó anteriormente, no vamos a proponer un marco general para la calidad de los datos, ni siquiera un marco completo para la calidad de datos BIM. En este trabajo nuestro objetivo es más modesto: sólo proponemos un conjunto de categorías o dimensiones de la calidad aplicable a datos BIM. Esta propuesta se centra sólo en la calidad intrínseca (precisión, objetividad, credibilidad, reputación), en el sentido definido por Strong y col. (1997). Con ello se limitan las posibles dimensiones de la calidad de los datos, de tal manera que no se consideran otros posibles aspectos como son la calidad relativa a la accesibilidad (p.ej., facilidad, seguridad), la calidad relativa al contexto (p.ej., relevancia, valor añadido), etc.; y, así, se facilita un primer abordaje de esta novedosa temática.

Organizamos los aspectos de calidad en componentes y elementos de calidad. Los componentes son agrupaciones lógicas de los elementos de la calidad. Los elementos se relacionan con aspectos específicos de la calidad que pueden ser medidos y evaluados por medio de diferentes medidas y métodos. En relación a las normas presentadas (ISO 19157 e ISO 8000), la Tabla 1 presenta un esquema de la procedencia de estas categorías y elementos propuestos. En ella se puede observar que básicamente se adopta la misma estructura que la propuesta por ISO 19157. En nuestra propuesta se recupera el linaje, que aparecía en la norma de calidad predecesora de ISO 19157 y ahora aparece en ISO 19115 (relativa a metadatos). Nos parece más correcto denominar compleción a la integridad, tal como se define en ISO 8000, por lo que se adoptan los dos elementos establecidos en ISO 19157. La definición de integridad de datos que realiza OACI (2004) para datos de navegación aérea nos parece más adecuada que la formulada en ISO 8000. Sin embargo, con vistas a un modelo inicial y sencillo, no se incorpora este aspecto. La categoría de consistencia lógica se incorpora completa, salvo el aspecto topológico, por no tener visibilidad directa hasta la fecha por parte de los usuarios de los modelos BIM. En lo relativo a la exactitud posicional, proponemos eliminar la relativa a datos en malla e incluir la fidelidad geométrica. La fidelidad geométrica se puede establecer bien como algo cuantitativo, a partir de medidas (p.ej., de distancia o superficie) o como algo de tipo cualitativo (p.ej., buena, regular, mala), o incluso booleana (buena, mala), en función de algún método que se establezca. Consideramos que la exactitud temática se puede asumir al completo, es decir, considerando los tres elementos que establece ISO 19157 dado que todos estos aspectos son relevantes en datos BIM. En relación a la exactitud temporal, se propone considerar el elemento exactitud de la fecha, que está relacionado con la exactitud de una medida de tiempo, pero que creemos es más fácil de entender. Además se puede derivar la consistencia temporal de este elemento, por lo que no se incluye esta última. Tampoco se incluye la validez temporal pues consideramos que es muy dependiente del tipo de aplicación y por ello, presenta una perspectiva más propia de usabilidad. Tampoco se ha incluido la usabilidad, la que aquí se realiza es una propuesta básica y la usabilidad supone una perspectiva múltiple y mucho más compleja. Los elementos propuestos y cualquier otro que se considere, podrían combinarse

para dar este elemento. Para aclarar algunos de los elementos de la calidad propuestos dentro del ámbito de los datos BIM, la Figura 2 muestra unos ejemplos conceptuales de algunos de ellos.

Tabla 1 - Procedencia de las categorías y elementos de la calidad propuestos para datos BIM

Normas existentes				Propuesta básica para datos BIM		
Categoría	Elemento	19100	8000	Propuesta	Elemento	Categoría
Elementos generales	Uso (1)	X				Elementos generales
	Propósito (1)	X				
	Linaje (1)	X	X	X	Linaje	
Compleción	Comisión	X		X	Comisión	Compleción
	Omisión	X		X	Omisión	
C. Lógica	C.L. Conceptual	X		X	C.L. Conceptual	C. Lógica
	C.L. Dominio	X		X	C.L. Dominio	
	C.L. Formato	X		X	C.L. Formato	
	C.L. Topológica	X				
E. Posicional	E.P. Absoluta	X		X	E.P. Absoluta	E. Métrica
	E.P. Relativa	X	X	X	E.P. Relativa	
	E.P. Malla	X				
				X	F.Geométrica	
E. Temática	C. Clasificación	X		X	C. Clasificación	E. Temática
	C.A. Cualitativo	X		X	C.A. Cualitativo	
	E.A. Cuantitativo	X		X	E.A. Cuantitativo	
E. Temporal	E.M. Tiempo	X				E. Temporal
	C. Temporal	X				
	V. Temporal	X				
				X	E. Fecha	
Usabilidad	Usabilidad	X				--
Integridad	Integridad		X			--

Notas: (1) Estos elementos ya no se indican en ISO 19157, el linaje y propósito aparecen en ISO 19115.

Las categorías y elementos propuestos son:

- Procedencia o linaje. Este elemento aparece en la norma ISO 8000, como la procedencia, y en la norma ISO 19113 (ISO 2002) (el predecesor de la ISO 19157), como linaje. Creemos que la inclusión es importante, ya que proporciona información relevante para la credibilidad y la reputación. Por ejemplo, en el caso de un BIM patrimonial permitirá reconocer la autoría o procesos destacados (p.ej., una restauración relevante). En el área de la IG este elemento ahora es abordado en la norma ISO 19115-1 (ISO 2015a), e incluye referencias a procesos datados y fuentes. Ambos elementos nos parecen apropiados para su consideración en BIM.
- Compleción. En el modelo de ISO 8000 se le denomina integridad, pero como se ha indicado anteriormente, su definición es más cercada a la de completación, tal y como se realiza en ISO 19157. La falta de completación es importante cuando se trabaja con datos, tanto cuando se refiere proyectos mediante diseño en BIM, como a la gestión BIM de bienes existentes por medio de datos capturados. En este caso se pueden considerar dos elementos:
 - Comisión. Es la existencia de datos en exceso (Figura 2.b). Esto significa que algo aparece en el modelo BIM, pero que no existe en el mundo real. Un ejemplo de un

- proyecto BIM patrimonio puede ser la inclusión de un ítem que realmente no debería aparecer, esta inclusión puede implicar la compra del bien con el consiguiente coste adicional.
- Omisión. Es la ausencia de ciertos datos en el conjunto (Figura 2.c). Esto significa que algo no está en el conjunto de datos BIM, pero que realmente existe en el mundo real. En BIM patrimonio esto puede significar la no consideración (omisión) de un ítem relevante del mundo real (p.ej., se ha omitido un sillar relevante, un escudo heráldico, etc.).
 - Exactitud métrica. Este elemento no aparece con este nombre ni en la norma ISO 8000 ni en ISO 19157. Sin embargo, la definición que se da a la exactitud en la norma ISO 8000 es totalmente compatible con esta propuesta y permite generalizar el esquema desarrollado en ISO 19157. En este caso se consideran las siguientes elementos:
 - Exactitud posicional absoluta (Figura 2.d). Este elemento no aparece en la norma ISO 8000, ya que su alcance no es geográfico. Pero la posición es el aspecto más significativo de la IG y por lo tanto relevante en la norma ISO 19157. Consideremos que los BIM debe entenderse plenamente integrados con la IG y los Geoservicios (p.ej., servicios de IDE, globos virtuales, etc.). Esto significa que la posición es un aspecto crítico y se requiere de un sistema de referencia de coordenadas y de una proyección, si se da el caso. Por ejemplo, la exactitud posicional absoluta será un requisito para integrar adecuadamente un modelo BIM con su parcela catastral, y colocarlo correctamente en los visores IDE y en los globos virtuales.
 - Exactitud posicional relativa (Figura 2.e). Este elemento no aparece en la norma ISO 8000 ya que no tiene alcance geográfico. Este elemento significa que los datos BIM deben recoger con precisión la posición relativa entre objetos o partes de objetos del mundo real. Por ejemplo, la distancia entre una puerta D y una ventana V debe ser precisa, o la distancia entre el muro M_1 y otro muro M_2 debe tener un grado adecuado de precisión.
 - Exactitud de las formas o fidelidad en formas (Figura 2.f). Este elemento está directamente relacionado con lo que se incluye en la norma ISO 8000 bajo el concepto de exactitud. Por otra parte, en algunas aplicaciones de la norma ISO 19113 (predecesora de ISO 19157) se llegó a definir este elemento. Se propone la inclusión de este elemento para considerar todos los aspectos geométricos relativos a un objeto en sí, en oposición a las relaciones posicionales entre un objeto y su entorno (p.ej., exactitud posicional absoluta o relativa). La fidelidad en formas incluye, entre otros, las tolerancias de fabricación. Por lo tanto, en función del aspecto (p.ej., rugosidad, redondez, altura, anchura, etc.) se podrán definir diferentes medidas.

La Tabla 2 presenta algunos ejemplos prácticos de las tipologías de elementos aquí presentadas.

Tabla 2 - Características de interés para edificios en tres dimensiones (Basado en Sargent y col. 2007)

Elemento	Característica	Comentario	Posibles usos
----------	----------------	------------	---------------

Elemento	Característica	Comentario	Posibles usos
Fidelidad geométrica	Formas geométricas entre edificios	Requerida para determinar qué localizaciones se ven desde otras. Necesaria para determinar líneas de visión desde ventanas. En ocasiones puede ser necesaria exactitud milimétrica.	Análisis de impactos visuales de edificios y urbanizaciones. Líneas de visión para análisis criminalístico. Modelado de disponibilidad de luz natural para desarrollos urbanísticos
	Geometría de Cubiertas	Se requiere una exactitud del orden de 0,1 – 0,2 m para determinar la geometría de cubiertas. Para algunos usos basta una clasificación de la forma de la cubierta.	Visualización y desarrollo de diseños urbanos. Modelado de redes de telecomunicaciones. Análisis de la respuesta de servicios de socorro. Análisis de riesgos.
	Geometría completa del edificio	Son de interés las formas de cubiertas y fachadas. El nivel de detalle requerido es muy variable. Suelen ser más importantes las fachadas que dan a la calle.	Planificación urbanística. Análisis de la respuesta de servicios de emergencias.
Exactitud posicional relativa	Posición y dimensiones de puertas y ventanas	Para algunos usuarios es suficiente la localización de los elementos. Si es necesaria la geometría de los elementos, la exactitud requerida suele estar entre 0,1 – 0,2 m. Para estudios de detalle de líneas de visión y de luz natural, puede necesitarse exactitud centimétrica o milimétrica.	Planificación de servicios de emergencias. Análisis criminalístico. Visualización para planificación urbanística. Análisis de riesgos de inundaciones.
Exactitud posicional absoluta	Punto más alto de la estructura	La exactitud requerida suele estar entre 0,1 – 0,2 m. Algunos usuarios requieren la altura respecto al terreno y otros la altitud respecto al nivel del mar. Puede ser necesario distinguir las chimeneas y torretas de ascensores.	Visualización de desarrollos urbanísticos. Modelado de señales para el diseño de redes de telecomunicaciones.
	Altura máxima de la cubierta	En algunos casos se corresponde con el punto más alto de la estructura. La exactitud requerida suele estar entre 0,1 – 0,2 m.	Visualización de desarrollos urbanísticos. Modelado de propagación de señales GNSS. Planificación de servicios de emergencias.
	Altura del alero de la cubierta	La exactitud requerida suele estar entre 0,1 – 0,2 m.	Visualización de desarrollos urbanísticos. Visualización de incidentes policiales.
	Altura de la planta baja	Está poco claro qué constituye la planta baja (planta habitada o no, por ejemplo). La exactitud requerida suele ser de 0,1 m.	Análisis de riesgos de inundaciones.

- Exactitud temática. Como tal, este elemento no aparece en la norma ISO 8000, aunque las interpretaciones de exactitud pueden cubrir este campo adecuadamente. La exactitud temática sí aparece en la norma ISO 19157. Aquí se propone incluir este elemento con el fin de incorporar a todos los aspectos de la exactitud que son de tipo temático, ya sean cuantitativos o cualitativos. En línea con ISO 19157 se proponen los siguientes elementos:

- Corrección de la clasificación. Se refiere a la correcta asignación de clases a los objetos del conjunto de datos BIM (p.ej., si hay una clasificación de estructuras verticales, que no se confunda en su asignación un tabique con un muro).
- Corrección de los atributos no cuantitativos (Figura 2.g). Se refiere a la corrección de los valores registrados en los atributos de los objetos (p.ej., si se registra el material de un zócalo y su valor real es mármol que no se registre como granito).
- Exactitud de los atributos cuantitativos. Los objetos pueden tener atributos cuantitativos (p.ej., valor de transmisividad térmica o luminosa). Este elemento significa que los valores que se registren deben ser lo más exactos posibles (ausencias de sesgo y precisión en la medida).
- Exactitud temporal. Como tal, este elemento no aparece en la norma ISO 8000, aunque las interpretaciones de exactitud pueden cubrir este campo parcialmente. Consideramos que el aspecto temporal en los BIM es muy importante, aunque este aspecto no se destaca mucho en los manuales de BIM. La gestión de sellos temporales es un aspecto clave para los BIM aplicados al patrimonio donde las secuencias temporales son importantes, pero también para la gestión de los inmuebles a lo largo de su ciclo de vida. Consideramos que por ello el elemento necesario es:
 - Exactitud de la fecha (Figura 2.h). Esto significa que las fechas se registren de la manera más exacta y fiel posible a la realidad.
- Consistencia lógica (Figura 3). Este elemento no aparece como tal en la norma ISO 8000, aunque las interpretaciones de exactitud pueden cubrir parcialmente este propósito. Por otra parte, la arquitectura propuesta en ISO 8000 sí parece tenerlo en cuenta. Nuestra proposición se alinea totalmente con la norma ISO 19157 y por ello se proponen los siguientes elementos:
 - Consistencia de formato. Significa que los registros se codifican siguiendo las reglas de los formatos establecidos en las especificaciones.
 - Consistencia conceptual. Se refiere a que los elementos de un BIM deben seguir algunas reglas conceptuales que son propias de una construcción (p.ej., las arquetas de desagüe deben estar siempre conectadas a un tubo de desagüe, Figura 4). Algunas de estas reglas aparecen incorporadas en las herramientas BIM pero otras muchas las pueden establecer los usuarios de aplicaciones concretas.
 - Consistencia de dominio. Los valores registrados para cualquier característica dada (p.ej., un atributo) deben estar dentro del dominio lógico de valores para esa característica (p.ej., el intervalo de los números naturales del 1 al 100, una lista enumerada de opciones, etc.). Por ejemplo, una lista enumerada puede ofrecer las opciones de materiales para una puerta: {madera, PVC, hierro, vidrio}. En este caso sólo se puede utilizar uno de los elementos de la lista; el uso de cualquier otro material es un error de consistencia de dominio.

Ariza, F. J. y Ariza I. (2016): "Datos BIM: propuesta de elementos de la calidad y método de control", *GeoFocus (Artículos)*, n°17, p. 66-92. ISSN: 1578-5157

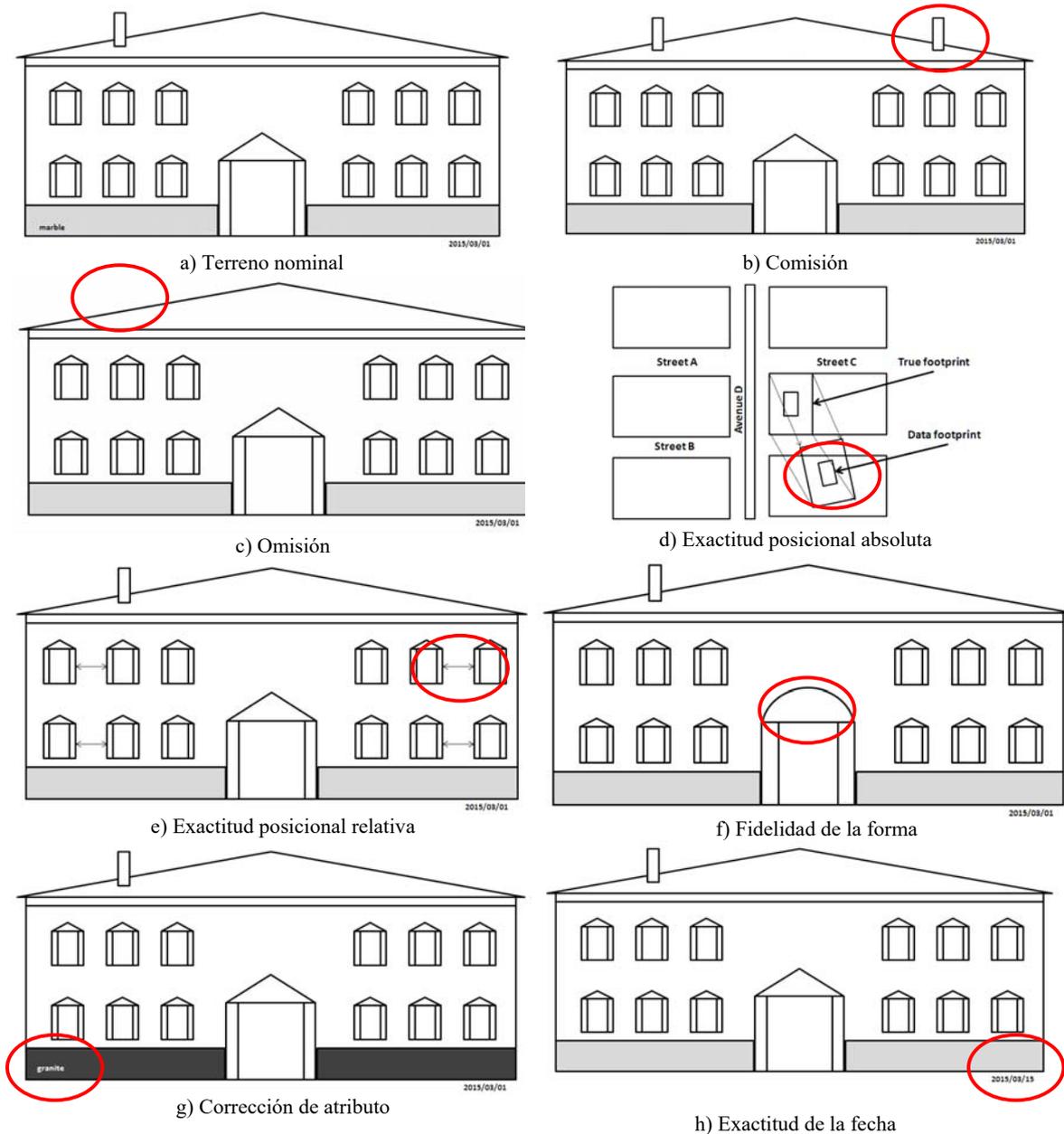


Figura 2 – Algunos ejemplos conceptuales de los elementos de la calidad definidos. En rojo se marcan los detalles con cambios

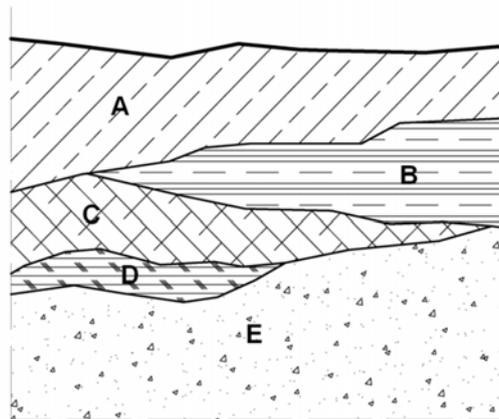


Figura 3 - Esquema de corte estratigráfico, donde necesariamente la antigüedad de $A < B < C < D < E$. Si la antigüedad de $C > D$ tendríamos una violación de las reglas.

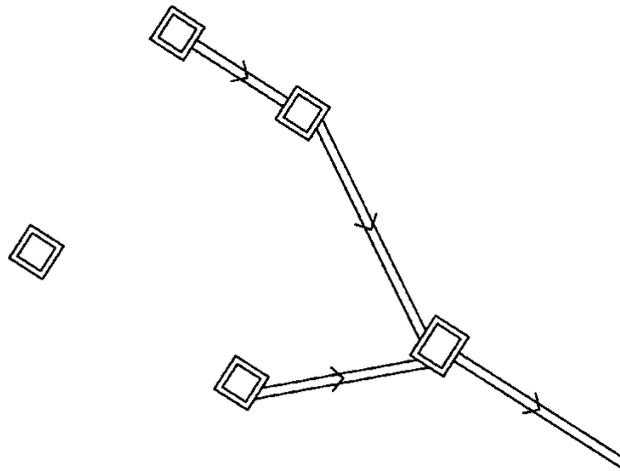


Figura 1 - Ejemplo de violación de una regla en una instalación de saneamiento.

3. Modelo para el control de calidad de datos BIM

Los problemas de mala calidad están íntimamente ligados a cualquier actividad que desarrollamos (p.ej., producción industrial, construcción, servicios, docencia, investigación, etc.). En el ámbito de los suministros de datos, materias, bienes o servicios se contraponen dos perspectivas, la del productor, que quiere colocar sus productos pero que también ha de desear conocer los errores/problemas y sus causas, para mejorar su proceso de producción y ser más competitivo; y la perspectiva del usuario, que quiere que no le engañen y que se cumplan con seguridad las especificaciones que ha establecido. Para solucionar esta situación es usual la

aplicación de controles de calidad con base estadística, y una perspectiva muy extendida es el uso de planes de muestreo por sus ventajas económicas. En esta línea se deben destacar las normas ISO 2859 (ISO 1999) e ISO 3951 (ISO 2013b), dedicadas a los procedimientos de muestreo para la inspección por atributos (aspectos cualitativos) y a los procedimientos de muestreo para la inspección por variables (aspectos cuantitativos), respectivamente.

Los planes de aceptación por muestreo son una técnica muy consolidada en el ámbito industrial para el control de calidad. Entre otras, las normas internacionales ISO 2859 e ISO 3951 son dos series de normas de amplia difusión en la industria (p.ej., farmacéutica, alimentación, agroindustria, electrónica, automovilística, etc.) que proponen planes de muestreo que son aplicables sobre atributos (ISO 2859, p.ej., cumple o no cumple) y sobre variables (ISO 3951, mediciones cuantitativas), tanto sobre lotes aislados como para secuencias de lotes. La norma ISO 2859 se basa en un modelo Binomial (cumple o no cumple), por lo que es muy robusto y puede aplicarse a aspectos cualitativos, pero también a aspectos cuantitativos si se establece una tolerancia. La norma ISO 3951 funcionalmente se organiza de manera similar a la norma ISO 2859, pero se aplica a datos cuantitativos y exige un comportamiento normal de estos datos, por lo que su aplicabilidad es mucho más limitada.

ISO 2859 hace referencia a los procedimientos de muestro para la inspección por atributos, mientras que ISO 3951 lo hace para la inspección por variables. Se denominan *atributos* las características cuya consideración hace que una unidad pueda ser clasificada como "buena" o "defectuosa". Los ejemplos de este caso son numerosos: el cumplimiento de una relación topológica, la falta de contenido en un campo, la comisión u omisión de elementos, etc. Son *variables* las características susceptibles de ser medidas sobre una escala continua, por ejemplo, una diferencia en la medición de una dimensión lineal, como es el caso del ancho de una puerta o ventana.

Estas normas se aplican cotidianamente desde hace décadas en el ámbito industrial, y son la base de lo que se denominan los procesos de aceptación por muestreo. Es decir, procesos en los que se toma la decisión de aceptar o rechazar un producto en función de que satisfaga o no unas especificaciones establecidas previamente, y en base a las conclusiones extraídas de un subconjunto o muestra. La decisión de aceptación/rechazo se realiza por medio de una evidencia estadística y asume ciertos riesgos (riesgos de productor y de usuario), bajo el beneficio de evitar la inspección al 100%, pero con el claro objetivo de evitar que se transfieran elementos de mala calidad al siguiente eslabón de la cadena, ya sea un cliente interno (cadena productiva) o externo (consumidor). El uso de las normas ISO 2859 y 3951 está propuesto en ISO 19157, y ya se encuentra recogido en documentos como las Reglas de Implementación de INSPIRE (*Infrastructure for Spatial Information in the European Community* <http://inspire.ec.europa.eu/>) y otros proyectos de alcance europeo como ESDIN (*European Spatial Data Infrastructure with a Best Practice Network* <http://www.esdin.eu/>). Por su parte, ya en el ámbito de los BIM, el NIST de los Estados Unidos propuso un método (Cheok y col. 2008) y que se orienta al control de variables en conjuntos de datos BIM.

De los elementos de la calidad planteados para los datos BIM se deriva que las tipologías de errores se refieren tanto a aspectos medibles o variables (p.ej., una dimensión de un objeto, diámetro, distancia entre objetos, ángulos, etc.) donde lo que interesa es la exactitud, como a otros aspectos de tipo cualitativo (atributos) que, sencillamente son correctos o incorrectos (p.ej., la asignación de un tipo de acabado a una pared, suelo, ventana, etc.). Nos encontramos pues que en el caso BIM, al igual que en el caso de la IG, coexisten aspectos cuantitativos y cualitativos que conviene controlar de manera conjunta.

Nuestra propuesta es adoptar el método NIST para el control de datos BIM, tanto en lo relativo a variables (aspectos cuantitativos), y ya considerados en propio método, como a atributos (aspectos cualitativos), y que se considera aquí de manera novedosa.

3.1. Método NIST

Según comentan Cheok y Franaszek (2009) el método NIST surge para dar solución al problema que tenía la *General Services Administration* (GSA) para gestionar más de 1600 construcciones y los procesos correspondientes de captura 3D, y de producción de información espacial y geométrica.

Para favorecer la calidad de los productos y facilitar el desarrollo de las actividades de su competencia, la GSA se planteó la necesidad de establecer un marco para la aceptación de productos que permitiera responder a la pregunta <<Is GSA 95% (say) confident that 99% (say) of all of the dimensions of the entire building are "in spec"?>>.

De manera muy resumida, el método de control consiste en realizar un muestreo aleatorio, simple o estratificado, y comprobar el número de casos de mediciones fuera de tolerancia frente a los valores dados en unas tablas. Es decir, el método NIST se basa en trabajar con proporciones. Así, el primer paso es la conversión de los valores cuantitativos en casos dentro o fuera de especificación.

De manera operativa, dado un dato cuantitativo, primero se determina si está o no dentro de tolerancia y se toma la decisión de si está o no dentro de las especificaciones, Los casos fuera de tolerancia se definen según dos criterios:

- Criterio 1: Tolerancia. Se ha definido una tolerancia métrica para la exactitud de los trabajos (p.ej., $Tol = 25\text{ mm}$):

$$|\Delta| = |Medida_{referencia} - Medida_{BIM}| \leq Tol \rightarrow \text{dentro de especificación}$$
$$|\Delta| = |Medida_{referencia} - Medida_{BIM}| > Tol \rightarrow \text{fuera de especificación}$$

- Criterio 2: Intervalo confianza de la referencia. Se considera la incertidumbre de las medidas de referencia y se establece un intervalo de confianza (p.ej., 95%):

$$|\Delta| = |Medida_{referencia} - Medida_{BIM}| \leq t_{\alpha,\vartheta} \times S_{referencia} \rightarrow \text{dentro de especificación}$$
$$|\Delta| = |Medida_{referencia} - Medida_{BIM}| > t_{\alpha,\vartheta} \times S_{referencia} \rightarrow \text{fuera de especificación}$$

donde:

- Δ Discrepancia entre valor medido como referencia y valor del BIM.
- S Desviación estándar de las medidas de referencia.
- $t_{\alpha,v}$ Percentil de la distribución t-Student de significación α y v grados de libertad.
- v Grados de libertad (número de repeticiones en la medición menos 1).

Para considerar que un dato del BIM está fuera de especificación se debe cumplir que la discrepancia Δ esté fuera de especificación en los dos criterios:

SI Criterio_1 es fuera_de_especificación Y Criterio_2 es fuera_de_especificación ENTONCES Δ es fuera_de_especificación

Hasta aquí se ha definido qué es un caso fuera de especificación, pero falta un modelo estadístico general que permita resolver si se debe aceptar o rechazar un conjunto de datos BIM en los que se ha encontrado un cierto número de casos fuera de tolerancia. Para este caso el modelo estadístico adecuado es el Binomial. Así, en una muestra de control de tamaño n definimos como "evento-fallo", para aspectos cuantitativos, aquellos casos en los que Δ cumple que está fuera_de_especificación. Para los casos cualitativos, los eventos fallos serán todos aquellos casos en los que los valores de los atributos no sean correctos.

De esta forma, tanto para aspecto cuantitativos como cualitativos, el proceso de control se basa en contar el número F de casos de eventos-fallo. Debido a la aleatoriedad del proceso de muestreo se puede considerar que el número de casos F del evento-fallo sigue el modelo de una distribución Binomial de parámetros n y π , es decir:

$$P[F > mc \mid F \rightarrow B(n, \pi)] = \sum_{k=mc+1}^n \binom{n}{k} \pi^k (1 - \pi)^{n-k} \quad (1)$$

donde:

- F Número de casos del evento fallo.
- mc Número de casos determinado.
- n Tamaño de la muestra.
- π Probabilidad de que el error sea mayor que la tolerancia ($\pi = P[E_i > Tol]$)

Así, los parámetros que intervienen en la aceptación por muestreo son la tolerancia que viene a resultar en un porcentaje de población fuera de las especificaciones (π), el tamaño de muestra (n) y el tamaño de población (N), que cuando es grande podrá considerarse mediante una aproximación asintótica. Dado que se quiere resolver esta decisión en un marco probabilístico también se ha de considerar el nivel de confianza, relacionado con la significación (α) adoptada.

La propuesta estadística se concreta estableciendo intervalos de confianza $(1-\alpha)$ que han de incluir los casos posibles de elementos fuera de especificación como algo aceptable. Para el cálculo de estos intervalos se utiliza el método de Clopper-Pearson (1934). Este método se denomina exacto

pues se basa en la propia función de distribución Binomial y no en una aproximación. Este método se caracteriza por ser un poco conservador, es decir, un intervalo dado (p.ej., 95%) es seguro que están dentro del intervalo real (del 95% en este ejemplo). Los intervalos son:

$$S_{\leq} := \left\{ \pi \mid P[B(n, \pi) \leq X] > \frac{\alpha}{2} \right\}$$

$$S_{\geq} := \left\{ \pi \mid P[B(n, \pi) \geq X] > \frac{\alpha}{2} \right\}$$

donde:

- X Número de sucesos observados en una muestra.
- $B(n, \pi)$ Variable Binomial de n pruebas con probabilidad de suceso π .

Dada la relación entre la función de distribución Binomial y la distribución Beta, el intervalo de Clopper-Pearson se puede indicar como:

$$B\left(\frac{\alpha}{2}; x; n - x + 1\right) < \pi < B\left(1 - \frac{\alpha}{2}; x + 1, n - x\right)$$

donde

- x Número de sucesos.
- n Número de pruebas.
- $B(q, v, w)$ q cuantil de la distribución Beta con parámetros de forma v y w .

De manera práctica estos intervalos se pueden determinar utilizando el paquete *R* (*R Development Core Team*, 2009) por medio de la instrucción *exactci* del paquete *PropCIs* (Scherer 2015). De esta forma, considerando sólo el extremo superior del intervalo, se puede obtener la Tabla 3. Se puede observar que los valores mostrados en esta tabla coinciden totalmente con los valores para las combinaciones equivalentes que presentan Cheok y col. (2008).

Tabla 3 – Límites de aceptación en función del tamaño de muestra y el número de defectos encontrados

N° defectos	Tamaño de muestra									
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
0	2.95	1.49	0.99	0.75	0.6	0.5	0.43	0.37	0.33	0.3
1	4.66	2.35	1.57	1.18	0.95	0.79	0.68	0.59	0.53	0.47
2	6.16	3.11	2.08	1.57	1.25	1.05	0.9	0.78	0.7	0.63
3	7.57	3.83	2.56	1.93	1.54	1.29	1.1	0.97	0.86	0.77
4	8.92	4.52	3.03	2.27	1.82	1.52	1.3	1.14	1.01	0.91
5	10.23	5.18	3.47	2.61	2.09	1.74	1.5	1.31	1.16	1.05
6	11.5	5.83	3.91	2.94	2.35	1.96	1.68	1.47	1.31	1.18
7	12.75	6.47	4.34	3.26	2.61	2.18	1.87	1.64	1.46	1.31

8	13.97	7.1	4.76	3.58	2.87	2.39	2.05	1.8	1.6	1.44
9	15.18	7.72	5.18	3.89	3.12	2.6	2.23	1.95	1.74	1.57
10	16.37	8.33	5.59	4.2	3.37	2.81	2.41	2.11	1.88	1.69
20	27.72	14.2	9.54	7.18	5.76	4.81	4.12	3.61	3.21	2.89
30	38.42	19.79	13.32	10.04	8.05	6.72	5.77	5.05	4.49	4.05
40	48.7	25.22	17	12.82	10.29	8.59	7.37	6.46	5.75	5.18
50	58.64	30.55	20.62	15.55	12.49	10.43	8.95	7.84	6.98	6.29
60	68.25	35.78	24.18	18.25	14.66	12.25	10.52	9.21	8.2	7.38
70	77.51	40.94	27.7	20.93	16.81	14.05	12.06	10.57	9.41	8.47
80	86.33	46.03	31.19	23.58	18.95	15.83	13.6	11.92	10.61	9.56
90	94.47	51.06	34.65	26.21	21.06	17.61	15.13	13.26	11.8	10.63
100	100	56.04	38.09	28.82	23.17	19.37	16.64	14.59	12.99	11.7

Fte. Elaboración propia

El uso de la tabla es sencillo. Primero se debe haber establecido un valor π que indique el máximo porcentaje de defectos que estamos dispuestos a aceptar en un conjunto de datos BIM. Sea para este ejemplo $\pi=10\%$. Aquellas celdas de la tabla en las que el valor de su celdilla cumple que es $p \leq \pi$, son las combinaciones de tamaño de muestra y número de defectos encontrados que son compatibles con el valor de π considerado. Este conjunto de casos se ha marcado en la Tabla 3 anterior. La línea quebrada y negrita divide la tabla en dos mitades triangulares, la superior, que es la zona de aceptación y la inferior que presenta las combinaciones de tamaños de muestra y defectos que generan el rechazo estadístico del conjunto de datos a evaluar.

3.2. Ejemplo de aplicación a datos cuantitativos

Para aclarar más su uso, veamos un ejemplo numérico concreto. Supóngase que se va a recepcionar un modelo BIM y que para ello se ha elaborado un plan de aceptación basado en lo siguiente:

- Muestra. Sólo interesan aspectos cuantitativos y se tomarán 100 medidas ($n=100$).
- Tolerancia. La tolerancia preestablecida es $Tol = 25$ mm.
- Fuera de especificación. Se considera admisible hasta un 5% de valores fuera de especificaciones ($\pi=5\%$ de defectos en medición).

Se recibe el BIM y se toman las $n = 100$ muestras de control con criterios de muestreo aleatorio simple. En el contraste entre las mediciones de control y los datos BIM se detectan 3 casos fuera de especificación.

Para decidir la aceptación o rechazo entraremos en la Tabla 3 con los datos $n = 100$, $d = 3$. El resultado es $p = 7.57$, como $p > \pi$ se deberá rechazar el trabajo. Para aceptarlo se debería cumplir que $p \leq \pi$. Entrando en la Tabla 3 esta circunstancia se da para el caso ($n=100$, $d=1$), y esto significa que se podría admitir el trabajo si sólo existiese un único caso fuera de especificación.

3.3. Ejemplo de aplicación a datos cualitativos

Supóngase que se va a recepcionar un modelo BIM y que para ello se ha elaborado un plan de aceptación basado en lo siguiente:

- Muestra. Sólo interesa un atributo cualitativo y se considera analizar 200 datos ($n=200$).
- Fuera de especificación. Se considera admisible hasta un 10% de atributos fuera de especificaciones ($\pi=10\%$ de defectos en atribución).

Se recibe el BIM y se analizan los $n = 200$ atributos de la muestra de control tomada con criterios de muestreo aleatorio simple. En el contraste los atributos se detectan 7 casos fuera de especificación.

Para decidir la aceptación o rechazo entraremos en la Tabla 3 con los datos $n = 200$, $d = 7$. El resultado es $p = 6.47$, como $p \leq \pi$ se deberá aceptar el trabajo.

3.4. Ejemplo de aplicación a datos cualitativos y cuantitativos

Supóngase que se va a recepcionar un modelo BIM y que para ello se ha elaborado un plan de aceptación basado en las siguientes decisiones:

- Se considera que todos aspectos a evaluar son igualmente relevantes.
- Se considera que existe total independencia estadística entre todas las tipologías de error.
- Se tomará una única muestra común para todos los aspectos y cuyo tamaño es $n=300$ elementos.
- Fuera de especificación. Se considera admisible hasta un 10% de casos fuera de especificación ($\pi=10\%$).
- Aspectos cuantitativos:
 - Se considera el control de sólo un aspecto cualitativo (p.ej., anchura).
 - Tolerancia. La tolerancia preestablecida es $Tol = 20$ mm.
- Aspectos cualitativos:
 - Se considera el control de dos atributos (p.ej., color, acabado).

Se recibe el BIM y se analizan $n=300$ elementos, en los que se contrastan los valores consignados para la altura, y los atributos color y acabado de los mismos elementos. Consideremos que los resultados obtenidos son:

- Anchura. Se detectan 5 valores fuera de especificaciones.
- Color. Se detectan 10 valores erróneos.

- Acabado. Se detectan 2 valores erróneos.

Según estos resultados y las hipótesis de independencia e igualdad de importancia, se tiene una proporción de defectos $(5+10+2)/(3 \times 300) = 17/900$. Para decidir la aceptación o rechazo entraremos en la Tabla 3 con los datos $n = 900$, $d = 17$. Si bien $d=17$ no aparece, pero observamos que para $d=20$ el valor de $p=3.21 \leq \pi$, por tanto, se deberá aceptar el trabajo.

4. Análisis crítico

En este apartado se presenta un análisis crítico de las dos propuestas realizadas; primeramente de los elementos de la calidad y, posteriormente, del método NIST.

4.1 Análisis crítico de la propuesta de elementos de la calidad de datos BIM

Los elementos de la calidad son la base para definir un modelo de calidad sobre una tipología de datos (p.ej., espaciales o BIM), por lo que su repercusión práctica es muy grande una vez que se adopta un modelo concreto. El modelo propuesto se basa mayormente en ISO 19157, modelo desarrollado para datos espaciales. Aquí el problema es que, si bien existe una gran semejanza conceptual entre las tipologías de datos espaciales y datos BIM, lo cierto es que los dominios de aplicación tienen idiosincrasias bien distintas. Como se ha indicado, se trata de una propuesta inicial, y como tal no se ha confrontado con la opinión de usuarios avanzados de modelos BIM, cuestión que pretendemos desarrollar en breve mediante encuestas y entrevistas; si bien los primeros contactos mantenidos con usuarios nos indican que el lenguaje les resulta lejano, y que también les cuesta entender los elementos de la calidad aquí propuestos. Entendemos que esta situación es lógica y muy similar a la que ocurría en el campo de la IG hace escasamente una década, cuando los temas de metadatos y calidad de datos tampoco estaban tan asumidos por el sector.

Los BIM se nutren de gran cantidad de datos de producto. Se ha intentado abarcar esta situación fusionando ISO 8000 con el modelo propuesto por ISO 19157, pero falta un desarrollo pormenorizado y más formal, así como pruebas experimentales para ver el grado de aplicabilidad real de la conjunción de estas dos perspectivas en una. Indudablemente, este desarrollo debería realizarse sobre un modelo que haya recibido cierto respaldo o visto bueno por parte de los usuarios de BIM.

La adopción de esta propuesta de elementos de la calidad, muy en línea con lo que se viene haciendo en el campo de la IG, consideramos que también puede permitir extender, *mutatis mutandis*, el modelo de metadatos de la IG al campo de los BIM, lo que simplificaría la interoperabilidad entre ambos dominios de aplicación.

4.2 Análisis crítico del método NIST de control de datos BIM

El método propuesto por NIST (Cheok y col. 2009) es un método de base estadística que supone una aportación relevante en el ámbito de la calidad en BIM. Sin embargo, su formulación presenta, a nuestro modo de ver, algunos puntos débiles, inconvenientes y deficiencias que deberían ser superados.

La explicación del método NIST no es formal; realmente no existe un documento que haga las veces de estándar y que lo formalice. Los documentos disponibles (Cheok y col. 2008 y 2009) presentan la descripción del proceso desarrollado por el NIST para llegar a definirlo. Esto hace que los documentos sean muy naturales y sencillos de seguir pues se plantea un problema y cómo se ha ido resolviendo éste, pero realmente no hay una formulación rigurosa y propia de un estándar. El trabajo aquí presentado sí ha desarrollado la base estadística del método, lo que permite entender mejor su comportamiento, y que los conocedores de su estadística puedan sacarle un mayor rendimiento en su aplicación.

En la línea de lo que se acaba de indicar, muchos aspectos quedan poco definidos. Por ejemplo, se trabaja con entregas de datos, esto implícitamente es un lote, pero no se habla de lotes ni se define qué condiciones ha de cumplir una entrega. Por otra parte, aspectos tan relevantes desde un punto de vista práctico y económico, como el tamaño de muestra en relación al tamaño de la entrega, no son abordados. El tamaño de muestra es un aspecto crucial en los métodos de control, pero en este caso se pasa de puntillas sobre el asunto.

Tampoco se ofrece una manera estándar de informar sobre el desarrollo del proceso de control y el resultado del control. El aspecto informativo es crucial en todo lo relacionado con la calidad de los datos, como se demuestra en el caso de las normas de la familia 19100 o en el ámbito de los sistemas de gestión de la calidad en la norma ISO 9001 (ISO 2015b) y los registros de la calidad. Sin embargo, en el caso de la propuesta NIST, este aspecto está completamente ausente. Consideramos que se debería adoptar un esquema similar al propuesto para la Información Geográfica basado en un conjunto de medidas normalizadas, un sistema de elementos de la calidad y un informe de la calidad. En esta línea, el método NIST tampoco considera aspectos tan relevantes como la metacalidad.

El método NIST tiene su base estadística en el modelo Binomial, según se deduce de los materiales elaborados por Cheok y col (2008). Sin embargo su formulación analítica en estos documentos no es nada explícita, lo que puede generar problemas de interpretaciones. Con el desarrollo estadístico aquí presentado sí queda resuelto este aspecto.

El método NIST propone un control de aceptación por muestreos; en esta línea su pretensión es equivalente a la de las normas ISO 2859 e ISO 3951. Sin embargo, el método NIST no llega a plantear un sistema capaz de gestionar una secuencia de entregas (p.ej., lote a lote). El método NIST trabaja con entregas aisladas, lo cual tienen un doble inconveniente: por un lado se ha de esperar a que todo el trabajo se haya concluido, lo que significa una entrega voluminosa y la necesidad de mayor tiempo para realizar los trabajos de control, y por otro lado, no hay realimentación hasta el final, lo que significa que se reduce la capacidad de reconducir situaciones

de mala calidad. En definitiva, al considerar entregas aisladas se pierde información de la serie y el método será menos eficiente.

Por otra parte, en NIST tampoco se presenta relación alguna con los parámetros definidores de la calidad en las normas ISO 2859 (Nivel de Calidad Aceptable y la Calidad Límite). Esta relación existe y es bien sencilla, como demuestran Ariza-López y Rodríguez-Avi (2015). Esto significa que se propone y crea un sistema que puede permanecer aislado de los sistemas de control industrial, creando una isla o silo, y con ello un problema de interoperabilidad.

La descripción del método desarrolla exclusivamente el control de datos BIM de tipo cuantitativos (medidas de distancias, ángulos, superficies, etc.). En esta descripción se olvida completamente la problemática de los datos de tipo cualitativo, evaluados por medio de conteos. En este trabajo sí se ha incluido esta perspectiva y se han presentado dos ejemplos que demuestran la posibilidad de desarrollar controles sobre aspectos cualitativos, de manera aislada, y sobre aspectos cuantitativos y cualitativos de manera conjunta, lo cual es algo novedoso incluso en el campo de los datos especiales.

5. Conclusiones

La calidad de datos BIM es un aspecto de gran importancia pero que, hasta el momento, no está adquiriendo la relevancia adecuada en comparación con el auge actual de desarrollos de aplicaciones BIM.

La calidad de datos BIM no está formalizada del todo, si bien desde el campo de la Información Geográfica se pueden transferir conocimientos directamente aplicables. Los datos BIM son muy semejantes a los datos espaciales, tanto en lo que respecta a su captura como en lo que respecta a su procesado, almacenado y errores. En este trabajo se ha realizado una propuesta de elementos de la calidad de datos para BIM basado en las normas ISO 19157 e ISO 8000. Esta propuesta básicamente asume los elementos de la calidad considerados en ISO 19157 añadiendo el aspecto de exactitud de las formas o fidelidad en las formas, que se considera relevante para el caso BIM. Las principales críticas a esta propuesta vienen del lado de su aceptación y entendimiento por parte de los usuarios BIM y de sus posibilidades reales de implementación.

El desarrollo legislativo de los países del entorno europeo va a exigir la entrega de conjuntos de datos BIM relativos a nuevas inversiones a partir de la entrada en vigor de la Directiva 2014/24 (UE 2014). Esto supone la necesidad evidente de controlar la calidad de estos conjuntos de datos. Desde aquí se propone la aplicación de la base estadística del método NIST. Por ello, en este trabajo se ha desarrollado esta base, la cual no aparece explícita en la documentación original y se ha indicado cómo obtener los valores correspondientes a las tablas publicadas por Cheok y col. (2008). Además, se ha propuesto extender este método más allá de su aplicación a datos cuantitativos, que es lo que indica la información existente, así, se han presentado dos ejemplos numéricos que demuestran la posibilidad de extender su aplicación al caso de atributos y al control conjunto de atributos y variables, aspecto relevante y que, por ejemplo, todavía no se aplica en datos

espaciales. Además, se ha realizado un análisis crítico del método NIST donde se han indicado varias líneas que podrían ser mejoradas para que este método tuviera una mayor generalidad, para que fuera más interoperable con otros métodos ya existentes y para que los resultados de su aplicación fueran informados de mejor manera.

Consideramos que, de manera pionera, este trabajo presenta las bases iniciales para la discusión de aspectos metodológicos y técnicos en el control de calidad de datos BIM. Se abren aquí numerosas posibilidades de investigación y desarrollo aplicados a los BIM que conviene que sean abordados desde la experiencia de la IG dada su cercanía conceptual y las evidentes necesidades de fusionar datos espaciales y BIM para generar mundos virtuales digitales lo más cercanos posibles al mundo real.

Referencias bibliográficas

Anil, E.B., Tang, P., Akinci, B., Huber, D. (2011, enero): "Assessment of the quality of as-is building information models generated from point clouds using deviation analysis". En *Proceedings of the IS&T/SPIE Electronic Imaging Science and Technology Conference, 3D Imaging Metrology*, 7864(pp.78640F 1-13). International Society for Optics and Photonics.

Ariza-López, F.J. Rodríguez-Avi J. (2015): "Using International Standards to Control the Positional Quality of Spatial Data". *PE&RS, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. En imprenta.

BYCB (2013): Building Information Modeling Site Safety Submission Guidelines and Standards (BIM Manual) versión 1.0. New York, New York City Buildings.

Clopper, C., Pearson, E.S. (1934): "The use of confidence or fiducial limits illustrated in the case of the binomial". *Biometrika*, 26: 404-413.

Cheok G., Filliben J., Lytle A.M. (2008): Guidelines for accepting 2D Building Plans (NISTIR 7638). Maryland, National Institute of Standards and Technology, NIST Interagency/Internal Report (NISTIR),

Cheok, G., Franaszek, M. (2009): NIST 7659. Phase III: Evaluation of Acceptance Sampling Method for 2D/3D Building Plans. Maryland, National Institute of Standards and Technology, NIST Interagency/Internal Report (NISTIR).

Cheok, G., Franaszek, M., Filliben, J. (2009): "Evaluation of an acceptance sampling method for 2d/3d building plans derived from 3D imaging data". *Journal of Construction Engineering and Management-ASCE*, 1st december 2009: 1-18.

DBB (2015): Level 3 Building Information Modelling - Strategic Plan. Digital Built Britain. <https://www.gov.uk/government> (consultado 2016-05).

Elberink, S.O., Pappadimitris N., Pierrot-Deussellingny M., Mallet C., Tournaire O. (2010) "Quality measures for building reconstruction from airborne laser scanner data". *IAPRS, International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 38(3A):198-203.

Elberink, S.O. y Vosselman, G. (2011): "Quality analysis on 3D building models reconstructed from airborne laser scanning data". *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 66(2):157-165.

ISO (1999): ISO 2859-1:1999. Sampling procedures for inspection by attributes -- Part 1: Sampling schemes indexed by acceptance quality limit (AQL) for lot-by-lot inspection. International Organization for Standardization.

ISO (2002): ISO 19113:2002. Geographic information -- Quality principles. International Organization for Standardization.

ISO (2008a): ISO/TR 21707:2008. Intelligent transport systems -- Integrated transport information, management and control -- Data quality in ITS systems. International Organization for Standardization.

ISO (2008b): ISO/IEC 25012:2008. Software engineering -- Software product Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) -- Data quality model. International Organization for Standardization.

ISO (2013a): ISO 19157:2013. Geographic information. Data quality. International Organization for Standardization.

ISO (2013b): ISO 3951-1:2013. Sampling procedures for inspection by variables -- Part 1: Specification for single sampling plans indexed by acceptance quality limit (AQL) for lot-by-lot inspection for a single quality characteristic and a single AQL. International Organization for Standardization.

ISO (2011-2015): ISO/TS 8000. Data quality. Parts 1, 2, 8, 100, 10, 120, 130, 140, 150 , 311. International Organization for Standardization. International Organization for Standardization.

ISO (2015a): ISO 19115-1:2014. Geographic information -- Metadata -- Part 1: Fundamentals. International Organization for Standardization.

ISO (2015b): ISO 9001:2015. Quality management systems – Requirements. International Organization for Standardization.

R Development Core Team (2009): R, A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, R Foundation for Statistical Computing.

Sargent, I., Harding, J., Freeman, M. (2007): "Data Quality in 3D: Gauging Quality Measures From Users' Requirements". *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 36(2/C43):1-8.

Scherer, R. (2015): Package 'PropCIs': Various confidence interval methods for proportions. Repository CRAN, Febr, 19, 2015. <https://cran.r-project.org/web/packages/PropCIs/PropCIs.pdf> (consultado 2015-10-15).

Strong, D.M., Lee, Y.W., Wang, R.Y. (1997). "Data Quality In Context". *Communications of the ACM*, 5(40):103-110.

Ariza, F. J. y Ariza I. (2016): "Datos BIM: propuesta de elementos de la calidad y método de control", *GeoFocus (Artículos)*, n°17, p. 66-92. ISSN: 1578-5157

Tang, P., Anil, E.B., Akinci, B., Huber, D. (2011, junio): "Efficient and Effective Quality Assessment of As-Is Building Information Models and 3D Laser-Scanned Data". *Proceedings of the ASCE International Workshop on Computing in Civil Engineering* (pp.19-22).

Tang, P., Huber, D., Akinci, B., Lipman, R., Lytle, A. (2010): "Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: a review of related techniques". *Automation in construction*, 19(7): 829-843.

UE (2014). Directiva 2014/24/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de febrero de 2014, sobre contratación pública y por la que se deroga la Directiva 2004/18/CE. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex:32014L0024> (consultado 15-10-2015)

Weygant, R.S. (2011): *BIM Content Development (Standards, Strategies and Best Practices)*. NJ, John Wiley & Sons, Inc. Hoboken.

Wagner, D., Wewetzer, M., Bogdahn, J., Alam, N., Pries, M., Coors, V. (2013): "Geometric-Semantical Consistency Validation of CityGML Models" en J. Pouliot y col., (eds.): *Lecture Notes in Geoinformation and Cartography. 3D Geoinfo, Progress and New Trends in 3D Geoinformation Sciences*. Quebec, Canada: Springer Berlin Heidelberg.

OACI (2004): Anexo 15 al convenio sobre Aviación civil Internacional. Servicios de información aeronáutica. <http://www.proteccioncivil.es/catalogo/> (consultado 2016-05).

Yang, X., Blower, J. D., Bastin, L., Lush, V., Zabala, A., Masó, J., Cornford, D., Díaz, P., Lumsden, J. (2013). "An integrated view of data quality in Earth observation. *Phil Trans R Soc A*, 371(1983): 20120072. <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2012.0072>.