



Métricas aplicadas a los modelos de calidad: caso de uso en los SIG

Willington Siabato⁽¹⁾

⁽¹⁾ Universidad Politécnica de Madrid, LatinGEO, wsiabato@acm.org

RESUMEN

Dentro del marco de la ingeniería del software el análisis de calidad basado en estándares no es un proceso aislado, trabajos como los presentados por Boehm y McCall han dado origen a estándares entre los que se destaca el ISO/IEC 9126, con el cual se han presentado algunas alternativas válidas de análisis y evaluación. Actualmente, uno de los problemas que afrontan los responsables de la implementación de proyectos relacionados con los Sistemas de Información Geográfica, es no contar con una técnica o herramienta que les permita seleccionar de forma objetiva cual de los paquetes de software disponibles en el mercado es el que mejor se adapta a las condiciones del proyecto, satisfaciendo de forma eficiente los requerimientos y necesidades del usuario. Este artículo plantea un modelo de calidad para soportar esta decisión sobre un conjunto de métricas propias derivadas de la evaluación consistente de características, sub-características y atributos del software, hasta llegar a obtener un Indicador de calidad SIG que permita elegir con un criterio técnico la plataforma idónea.

1. INTRODUCCIÓN.

En los años sesenta y setenta emergieron nuevas tendencias en la forma de utilizar la información cartográfica para la valoración de recursos y planificación territorial. Se observó que las diferentes coberturas sobre la superficie de la tierra no eran independientes entre sí, sino que guardaban algún tipo de relación. Se hizo latente entonces la necesidad de evaluarlas de una forma integrada y más eficiente. Una manera sencilla de hacerlo era superponiendo copias transparentes de mapas sobre mesas iluminadas y encontrar puntos de coincidencia en los distintos mapas de los diferentes datos descriptivos. Posteriormente, esta técnica se aplicó a la emergente tecnología informática trazando mapas sencillos sobre una cuadrícula de papel ordinario, superponiendo los valores de esa cuadrícula y utilizando la sobreimpresión de los caracteres de la impresora por renglones para producir tonalidades de grises adecuadas a la representación de valores estadísticos, en lo que se conocía como sistema de cuadrícula. (Instituto Alexander von Humboldt, 2003)

No obstante, estos métodos no se encontraban desarrollados lo suficiente y no eran aceptados por los profesionales que producían, actualizaban o usaban información cartográfica. A finales de los años setenta, la tecnología del uso de ordenadores en el manejo de información cartográfica progresó rápidamente y se afinaron muchos de los sistemas informáticos para distintas aplicaciones cartográficas. De forma paralela, se estaba avanzando en una serie de sectores relacionados, entre ellos la fotogrametría y la percepción remota. En un principio, este rápido ritmo de desarrollo provocó una gran duplicación de esfuerzos en las distintas disciplinas relacionadas con la cartografía, pero a medida que se aumentaban los sistemas y se adquiría experiencia, surgió la posibilidad de articular los distintos tipos de elaboración automatizada de información espacial, reuniéndolos en verdaderos sistemas de información geográfica para fines generales.

A principios de los años ochenta, los Sistemas de Información Geográfica -SIG- se habían convertido en un sistema plenamente operativo, a medida que la tecnología de los ordenadores se perfeccionaba, se hacía menos costosa y gozaba de una mayor aceptación. Actualmente, se están implementando de forma vertiginosa estos sistemas en organismos públicos, laboratorios e institutos de investigación, instituciones académicas, la industria privada y las instalaciones militares y públicas.

Esta amplia introducción de los SIG, ha creado la necesidad para los usuarios de la información geográfica de conocer esta tecnología más a fondo, y para ello es necesario que cuenten con herramientas de soporte y apoyo, que ofrezcan un alto grado de robustez y confiabilidad que sólo se puede asegurar a través de metodologías establecidas y desarrolladas para este objetivo en específico.

En este artículo se presenta el desarrollo de un modelo de calidad, que permite seleccionar y verificar que el software SIG que se utilizará como plataforma para un proyecto específico, es fiable, cumple con los requerimientos mínimos del proyecto y en específico, satisface las necesidades tanto del proyecto como del usuario. De este modo, se propone una novedosa solución para ayudar a los profesionales de la información geográfica a basar su decisión de elección de la plataforma software sobre un modelo de calidad creado para tal fin, un modelo que cubre una evidente necesidad sobre la cual aún no se ha trabajado y que se observa en el día a día de instituciones y empresas.



2. DESCRIPCIÓN.

Los modelos como abstracción de la realidad son creados para facilitar procesos y brindar a los usuarios las herramientas necesarias para interpretar esta compleja realidad, partiendo de los componentes principales y desechando elementos no representativos que no afectan los resultados finales de forma significativa. Los modelos matemáticos por ejemplo, permiten simplificar la realidad a través de variables y la acotan mediante restricciones.

Una realidad modelada siempre es más fácil de comprender que la realidad tal y como se presenta, otra de las ventajas que presenta el modelar un fenómeno es controlar y definir diferentes escenarios dentro de los denominados procesos de simulación, así, se puede anticipar una acción ante un fenómeno no controlado, ya sea para verificación o para corregir una posible falla que puede no haberse contemplado.

Los modelos de calidad en específico, ofrecen una serie de elementos que se deben tener en cuenta para asegurar que las acciones realizadas dentro de un proceso cualquiera resulten adecuadas para obtener los resultados deseados. De este modo, se requieren diferentes tipos de variables que se ajusten a las características intrínsecas y extrínsecas de los elementos que se quieran involucrar dentro del modelo o modelos a desarrollar.

Hoy en día, la creciente oferta de productos software del mercado, la constante fusión y compra de empresas dedicadas al desarrollo de herramientas informáticas, las múltiples versiones disponibles de un mismo producto, la necesidad de incorporar productos o extensiones adicionales para contar con herramientas y funciones específicas; son motivos suficientes para que personal experto y no experto dedicado al desarrollo e implementación de sistemas de información, se vea sumergido en una confusa nube en la que una simple decisión como lo es elegir una plataforma software se convierta en una labor difícil de llevar a cabo.

Una vez los proyectos relacionados con sistemas de información son planificados, y los objetivos y necesidades del usuario están plenamente identificados, una de las etapas más importantes en su diseño y desarrollo es la selección de la plataforma sobre la cual será soportado. Esta decisión implica en el desarrollo del proyecto, inversión de recursos, tiempos de ejecución, cumplimiento óptimo de requerimientos y necesidades, funcionalidad adecuada y satisfacción del cliente.

Para el dominio específico de los Sistemas de Información Geográfica, no existe una herramienta, metodología o modelo que permita a los arquitectos del sistema seleccionar la plataforma sobre la cual será implementada la aplicación. Tampoco cuentan con el apoyo necesario para soportar su decisión en conceptos teóricos bien fundamentados. Por tanto, se hace evidente la necesidad de crear algún método para que esta decisión no sea tomada basándose únicamente en la experiencia de los encargados, o como ocurre en la mayoría de los casos, sesgando el abanico de posibilidades a las pocas herramientas que puedan llegar a conocer.

La deficiencia mencionada constituye un problema que requiere de atención y necesita de soluciones que apoyen uno de los procesos relevantes en la ejecución de un proyecto, puesto que impacta de manera directa su éxito o fracaso.

Teniendo en cuenta lo dicho hasta este punto, es posible concretar el objetivo de este artículo, y no podría ser otro que construir un modelo de calidad para paquetes de software SIG, que permita identificar a través de métricas robustas cual es la herramienta óptima para la implementación de un sistema de información en un marco de condiciones específicas y para un conjunto de requerimientos definidos. Con este modelo se mitigarían tres puntos fundamentales: (i) agilizar el proceso de selección de herramientas y plataformas del sistema, (ii) brindar una metodología segura para garantizar que la herramienta seleccionada cumple con los requerimientos mínimos de sistema y usuario, (iii) soportar el desarrollo de sistemas de información en estándares y modelos de calidad diseñados y desarrollados específicamente para tal fin.

2.1. Modelos de calidad.

Lo primero que se debe discutir en el desarrollo de este artículo es que se entiende como calidad, y como se integra esta característica al ámbito de los sistemas de información y los paquetes software. Tal como ha evolucionado la calidad, el concepto ha sufrido varias transformaciones en el tiempo, de este modo existen diferentes definiciones emitidas por los grupos de trabajo dedicados a su estudio. La Real Academia Española define calidad como una "propiedad o conjunto de propiedades inherentes a algo, que permiten juzgar su valor". Otros significados más formales y que tienen en cuenta la dimensión humana son los que sugiere el Dr. Joseph M. Juran (Juran, 1995):

- Calidad es adecuación (del producto) al uso.
- Calidad consiste en libertad después de las deficiencias.
- La calidad se refiere a la ausencia de deficiencias.
- La calidad consiste en aquellas características de producto que se basan en las necesidades del cliente y que por eso brindan satisfacción con el producto.



Por otro lado el Profesor Deming (Deming, 1991) indica que “calidad es traducir las necesidades futuras de los usuarios en características mensurables, solo así un producto puede ser diseñado y fabricado para dar satisfacción a un precio que el cliente pagará”.

Otras definiciones relevantes son las de (Crosby, 1991), (Feigenbaum, 1991), (Ishikawa, 2003), (Taguchi, 2004) y por supuesto (ISO, 2000), que define la calidad como el “conjunto de propiedades o características de alguna cosa (producto, servicio, proceso, organización, etc.) que la hacen apta para satisfacer necesidades”. Esta definición no sólo se refiere a las características del producto o servicio, sino que introduce otros aspectos que se pueden reflejar en el producto o servicio final.

Analizando las definiciones presentadas, el concepto de calidad que se tiene en cuenta para desarrollar el modelo expuesto en este artículo, es el conjunto de características de un producto o servicio que tienen la habilidad de satisfacer las necesidades y expectativas de un usuario, permitiendo juzgar su valor basado en un conjunto de atributos y propiedades intrínsecas, dentro de un marco de referencia bien acotado.

2.1.1. Calidad en el software.

Es claro como hoy en día los ordenadores y el software que se ejecuta en éstos, son utilizados para una cada vez más amplia variedad de campos y aplicaciones: planificación del territorio, diseño arquitectónico, síntesis de proteínas, capacitación a distancia, análisis de señales en la explotación petrolera, entre otros. Es por este motivo, que el desarrollo y selección de productos software de alta calidad resulta relevante, teniendo en cuenta que su correcto desarrollo e implementación implican el éxito o fracaso de los procesos que se soporten sobre estas herramientas. Así, la especificación y la evaluación extensiva de la calidad de los productos software es un factor clave para asegurar una calidad adecuada y el éxito de las tareas que se basen en éste. Esto se puede alcanzar definiendo las características de calidad apropiadas, teniendo en cuenta el propósito y uso del producto software.

ISO (ISO & IEC, 2001) indica que es importante que cada característica relevante de calidad del producto software se especifique y se evalúe, usando dentro de lo posible métricas que estén validadas o ampliamente aceptadas. Es responsabilidad directa de los productores de software que estas características sean identificadas para definir las métricas que permitan conocer si un elemento o atributo del producto es aceptable o no. De este modo, se tendrán en cuenta la mayor parte de elementos involucrados tanto en el proceso de desarrollo como en el uso del software, así el usuario contará con un producto de mejor calidad.

La Organización Internacional de Normalización -ISO- y la Comisión Electrotécnica Internacional -IEC- constituyen el núcleo para la normalización a nivel internacional. Estas entidades trabajan en colaboración con otras organizaciones internacionales, gubernamentales y privadas, conformando comités técnicos, a través de los cuales se han desarrollado estándares como ISO/IEC 9126 e ISO/IEC 14598.

Estos estándares en particular, han sido desarrollados teniendo en cuenta que las características y métricas asociadas se pueden usar no sólo para evaluar los productos software, sino también para definir requisitos de calidad y otros usos. ISO/IEC 9126 fue creada para la especificación y evaluación extensiva de la calidad de los productos software teniendo en cuenta métricas, especificando características relevantes de calidad y describiendo un modelo del proceso de producción de los productos software desde el punto de vista de interno, externo y de uso. ISO/IEC 14598 por su parte, se relaciona con la evaluación de los productos software.

Teniendo en cuenta que el modelo a proponer tiene como objetivo suministrar una herramienta que permita al usuario seleccionar entre las diferentes propuestas del mercado, un software que se adecue a las necesidades específicas y cumpla con los requerimientos de calidad para la implementación de Sistemas de Información Geográfica -SIG- en un ámbito específico, el trabajo a desarrollar se basa en lo establecido en la familia ISO/IEC 9126 y específicamente en el estándar ISO/IEC 9126-1 -Modelo de Calidad-. A continuación se describen los conceptos que definen la norma y que serán aplicados en el diseño y desarrollo del modelo para la evaluación de software SIG.

2.1.2. Familia de estándares ISO/IEC 9126.

ISO/IEC 9126 es una familia de estándares que regulan la calidad de los productos software teniendo en cuenta: los modelos que le componen, las características intrínsecas y externas, la forma en que se miden este tipo de características y la funcionalidad del modelo propuesto. La norma se compone de cuatro partes que comparten el mismo título general: Tecnologías de la Información – Calidad de los productos software.



Tabla 1: Familia del estándar ISO/IEC 9126.

Estándar	Objetivo
ISO/IEC 9126-1	Modelo de calidad
ISO/IEC 9126-2	Métricas externas
ISO/IEC 9126-3	Métricas internas
ISO/IEC 9126-4	Métricas de calidad de uso

Xavier Franch (Franch, 2003) menciona que específicamente la ISO/IEC 9126-1, dirige la definición del modelo de calidad y su uso como un marco de trabajo para la evaluación del software. Un modelo de calidad del estándar 9126-1 es definido por medio de las características generales del software, las cuales son refinadas en subcaracterísticas, que a su vez son descompuestas en atributos, generando una jerarquía multinivel. En la parte inferior de la jerarquía están los atributos cuantificables del software, cuyos valores son calculados usando algunas métricas, que son definidas y reguladas en los estándares ISO/IEC 9126-2 para métricas externas e ISO/IEC 9126-3 para las internas. Las métricas internas cuantifican las características del software mismo, mientras que las externas miden el comportamiento general involucrando el sistema general en el que el software se esté desempeñando o implementando.

Finalmente, la calidad en la utilización del software cuantifica los efectos de usar el paquete en un contexto específico teniendo en cuenta las características y subcaracterísticas, proceso que está regulado por el estándar ISO/IEC 9126-4.

2.1.3. Estándar ISO/IEC 9126-1.

El estándar ISO/IEC 9126-1, documento principal de referencia para el desarrollo de esta propuesta, describe un modelo de calidad para productos software, dividido en dos partes:

- Calidad interna y externa. La primera parte del modelo especifica seis características para la calidad interna y externa, que se subdividen posteriormente en subcaracterísticas. Estas subcaracterísticas se manifiestan externamente cuando el software se usa como parte de un sistema de computación, y son el resultado del análisis de los atributos internos del software, que son los elementos a tener en cuenta para verificar las funciones del paquete a evaluar.
- Calidad en uso. Esta parte del modelo especifica cuatro características de calidad en uso, pero no elabora el modelo más allá de este nivel. La calidad en uso es el efecto combinado para el usuario de las seis características de calidad del software.

ISO/IEC 9126-1 permite especificar y evaluar la calidad de los productos software desde diferentes perspectivas por parte de aquellos involucrados en la adquisición, los requisitos, el desarrollo, uso, evaluación, soporte, mantenimiento, aseguramiento de la calidad y auditoría del software.

Las necesidades de calidad de los usuarios incluyen requisitos de calidad en uso en contextos específicos, tal y como se señaló en la definición de calidad. Estas necesidades pueden usarse cuando se especifique la calidad interna y externa, usando las características y subcaracterísticas de calidad de los productos software. ISO (ISO & IEC, 2001) señala que la calidad de estos productos se puede evaluar midiendo: atributos internos, referidos a las medidas estáticas de productos intermedios; atributos externos, midiendo el comportamiento del código en ejecución; y los atributos de la calidad en uso.

Los puntos de vista de calidad interna, calidad externa y calidad en uso cambian durante el ciclo de vida del software. Por ejemplo, la calidad especificada como requisitos de calidad al comienzo del ciclo de vida está vista principalmente desde el punto de vista externo y de los usuarios, y es distinta de la calidad de los productos intermedios, tal como la calidad de los diseños, que está principalmente vista desde la perspectiva interna y de los desarrolladores. En la evaluación del modelo de calidad propuesto sólo se tienen en cuenta los elementos relacionados con la calidad externa, pues es allí en donde el usuario final interactúa con el producto final, sin embargo el modelo es también apto para la evaluación interna.

En otros marcos de referencia, la percepción de usuario puede retroalimentar la calidad interna y formar un ciclo de mejora del producto, no obstante, este elemento no será considerado dentro del desarrollo del trabajo, puesto que se enfoca exclusivamente al usuario final.

2.2. Modelos de referencia.

La calidad de un producto software se debería evaluar usando un modelo de calidad definido. En la práctica, no es posible medir las subcaracterísticas internas y externas de todos los componentes de un producto software que tiende a ser amplio y complejo. Del mismo modo, no es práctico medir la calidad en uso para todos los posibles escenarios usuario-tarea. Los recursos para la evaluación deben asignarse a los distintos tipos de mediciones dependiendo de los objetivos de negocio y de la naturaleza del producto o del proceso de diseño. ISO propone evaluar la calidad de los productos software basado en un conjunto de características y subcaracterísticas de carácter general.

La Tabla 2 muestra las características y subcaracterísticas que conforman el modelo base propuesto por ISO/IEC 9126-1. Además se incluye la subcaracterística *conformidad* para cada una de las características. Estos elementos son la base del modelo propuesto, más adelante se verá como al combinarlo con la flexibilidad del trabajo propuesto por Franch y Carvallo, se define un marco adecuado de evaluación para el dominio de los SIG.

Los trabajos revisados para el desarrollo de este artículo, son algunos de los modelos de calidad que por su objetivo, permitan de un modo u otro, evaluar el desempeño de alguna aplicación o crear algún tipo de métrica.

En el estudio realizado por (Chirinos *et al*, 2003) se propone una clasificación de requisitos que tiene en cuenta las vistas de calidad desde las primeras etapas del desarrollo, para facilitar la identificación de los requisitos de calidad. Los autores detectan que la elicitación de requisitos se centra en los requisitos funcionales, mientras que los requisitos no funcionales y en concreto, todos los aspectos relativos a la calidad del producto software, sólo aparecen en la documentación del software; esta documentación es opcional e informal, lo que agrava todavía más el problema. Ante la carencia de un modelo que proporcione un proceso bien definido que establezca de forma precisa cómo identificar los requisitos de calidad, los autores desarrollan un modelo de clasificación de requisitos basado en vistas de calidad, con el fin de facilitar la identificación de requisitos de calidad y, posteriormente, su especificación.

Otro trabajo muy interesante es el realizado por (Losavio, 2002), en el que propone una forma para especificar los atributos de calidad relevantes involucrados en el proceso de diseño arquitectónico. Se destaca como las aplicaciones modernas implican distribución, portabilidad, interoperabilidad, reusabilidad de componentes, entre otros. Por lo tanto, se requiere que la definición del sistema arquitectónico se haga lo antes posible para cumplir los requisitos no funcionales (como mantenibilidad y fiabilidad), relevantes para lograr los propósitos funcionales del software; sin embargo, no existe ninguna guía que especifique como se han de capturar estos requisitos. Existen diferentes métodos de diseño arquitectónico entre los que destacan el método de Jan Bosch (Bosch, 2000) y el ABD -Diseño Basado en la Arquitectura- creado por Felix Bachmann (Bachmann *et al*, 2000]. No obstante, ninguno de estos métodos propone una aproximación para construir un modelo de calidad global que obtenga las medidas de los atributos de calidad. Ante esta carencia, la autora intenta mejorar el proceso de diseño arquitectónico mediante la utilización de SQUID (Bøegh, 1999) para la especificación de la calidad. A través de la aproximación SQUID define el modelo de calidad correspondiente a la arquitectura.

Otro trabajo a tener en cuenta es el realizado por (Calero *et al*, 2004) en el que elaboran el Modelo de Calidad Web -WQM-. Su diseño define tres dimensiones. En la dimensión *características Web* los autores incluyen los tres aspectos Web clásicos: contenido, presentación y navegación. Para la descripción de la dimensión *características de Calidad* toman como referencia el modelo Quint2. En la dimensión *ciclo de vida* incluyen los principales procesos del estándar ISO 12207-1: desarrollo, explotación y mantenimiento.

Características	Subcaracterísticas
Funcionalidad	Aplicabilidad, exactitud, seguridad interoperatividad.
Fiabilidad	Madurez, tolerancia a fallos, capacidad de recuperación.
Usabilidad	Capacidad para ser entendido, capacidad para ser operado, capacidad para ser aprendido, capacidad de atracción.
Eficiencia	Comportamiento temporal, utilización de recursos.
Mantenibilidad	Capacidad para ser analizado, capacidad para ser cambiado, estabilidad, capacidad para ser probado.
Portabilidad	Adaptabilidad, facilidad de instalación, coexistencia, capacidad para ser reemplazado, cumplimiento de la portabilidad.

Tabla 2: Características y subcaracterísticas del estándar ISO/IEC 9126-1.



(Li *et al*, 2002) adaptan el modelo SERVQUAL y desarrollan un modelo conceptual para medir la calidad del servicio basado en la Web –WSB–. Se pretende identificar las diferencias existentes entre los servicios basados en Web y los canales de comunicación tradicionales.

El trabajo de referencia principal es el propuesto por Franch y Carballo (Franch, 2003) para la selección de paquetes software. En él proponen una metodología para construir modelos de calidad estructurados que permiten seleccionar paquetes de software involucrando tanto la descripción y funcionalidades del software como los requerimientos de calidad y del usuario. También indican que un modelo estructurado para un dominio de paquetes determinado provee una taxonomía de las características de calidad del software así como las métricas para computar su valor. Muestran como los requisitos de calidad son a menudo difíciles de verificar, debido en parte a su naturaleza, pero hay otra razón que puede ser mitigada como lo es la falta de descripciones estructuradas y extendidas del dominio del paquete. Esta ausencia obstruye la descripción adecuada de los paquetes de software y la declaración precisa de los requisitos de calidad, y consecuentemente, la selección global del paquete y la confianza en el resultado del proceso. La metodología propuesta se soporta en el estándar de calidad ISO/IEC 9126-1. Una vez el modelo de calidad este definido, es posible declarar los requisitos de dominio así como las características del paquete con relación al modelo resultante. Por lo tanto, se puede usar este marco de trabajo para soportar la negociación entre los requisitos del usuario y las capacidades del producto durante la selección del paquete de software. El modelo se divide en seis pasos a saber: definición del dominio, determinación de subcaracterísticas de calidad, definición de una jerarquía de subcaracterísticas, descomposición de subcaracterísticas en atributos, descomposición de atributos derivados en básicos, declaración de relaciones entre entidades de calidad & determinación de las métricas para atributos.

Es precisamente en la determinación de las métricas para atributos donde se centra el desarrollo del modelo propuesto y donde subyace el aporte del trabajo realizado, puesto que ninguna metodología de las presentadas llega a definir como tal una métrica. Y más allá, se define un indicador de calidad global con el que se tiene una cuantificación definitiva de la calidad del software.

2.3. Métricas.

Teniendo en cuenta que el modelo a proponer se compone de características, atributos y métricas, conviene definir estos componentes para ubicarse en un marco específico. Vallecillo y Bertoa [VALLEC'97] describen una característica de calidad como un conjunto de propiedades mediante las cuales se evalúa y describe la calidad de un producto. Indica también que las características se pueden refinar en múltiples niveles de subcaracterísticas hasta el detalle que sea requerido. El atributo corresponde a una propiedad de calidad a la que puede asignarse una métrica, y ésta, se describe como un procedimiento que examina un componente y produce un dato simple.

Dentro del modelo a proponer se parte de la premisa científica que lo que se puede medir se puede valorar, con una valoración adecuada se obtendrá por tanto un indicador confiable para la selección del paquete software. Esta valoración sólo se puede conseguir si lo que se mide corresponde a una descripción adecuada de las características principales del producto, esta descripción se realiza dentro del modelo con los atributos, por tanto, serán directamente los atributos definidos para cada característica el componente a ser cuantificado.

Una vez identificado el elemento que se debe cuantificar, el siguiente paso es saber la manera como estos atributos serán medidos. Para llegar a determinar si un producto es o no de calidad cuantitativamente, se elaboran una serie de medidas a las que se denominan métricas. El *IEEE Standard Glossary of Software Engineering Terms* [IEEE'90], define métrica como “una medida cuantitativa del grado en el que un sistema, componente o proceso posee un atributo dado”. Esta medida se puede llevar a cabo desde diferentes ópticas y por tanto, se hace necesario identificar el contexto en el que estás medidas son aplicadas. ISO/IEC define dos puntos de vista: interno y externo. Si estas medidas se realizan desde el punto de vista interno, significa que se está midiendo el proceso de desarrollo y quien elabora las medidas es el equipo responsable del desarrollo, pero si se toma como punto de partida el producto y demás componentes de distribución y las valoraciones son realizadas por los usuarios entonces se estará evaluando desde una visión externa.

Debido a que el modelo de calidad evaluará el producto final, implica que será el usuario quien valore las características del software, por tanto, el modelo estará basado en un conjunto de métricas externas. No obstante, y para su respectiva definición, se presentará el análisis de un conjunto de métricas internas, puesto que son las que están más desarrolladas en el campo de la Ingeniería del Software y se tomarán como punto de partida para el diseño de las métricas con las que se cuantificarán los atributos que describan las características del dominio definido para la evaluación de paquetes de software SIG.

3. DEFINICIÓN DEL MODELO.

A través del modelo propuesto, se puede saber cuál de los paquetes de software disponibles en el mercado cumple con los requisitos mínimos y necesarios en condiciones deseadas, y cuál de ellos obtiene la calificación más alta



en cada una de las características (dimensiones) que se definen en el modelo para su respectiva evaluación. Esta calificación permitirá descartar de manera objetiva aquellas herramientas que no cumplan con las condiciones mínimas, así como reducir el abanico de posibilidades para entrar a determinar una decisión final basada en otro tipo de criterios como la relación costo beneficio, pues es posible que herramientas que estén separadas por un amplio margen de costo, suministren las mismas funcionalidades y garanticen la misma fiabilidad en unas condiciones de diseño predefinidas.

3.1. Características y subcaracterísticas.

Hasta este punto es clara la flexibilidad de la metodología propuesta por ISO/IEC 9126-1 y como sus componentes no son una camisa de fuerza para la definición del modelo en un dominio específico, pero constituyen un buen punto de partida. De este modo, al analizar los componentes y modificar las dimensiones de acuerdo a las necesidades del software SIG, algunas subcaracterísticas han sido eliminadas ó han cambiando de sentido y otras se han creado definiendo nuevos conceptos según se ha identificado para el dominio específico de los SIG.

El resultado de este análisis para el dominio del tipo de software seleccionado, se visualiza en la Tabla 3. En términos generales las definiciones de las subcaracterísticas se mantienen de acuerdo a lo indicado en ISO/IEC 9126-1. La subcaracterística *Cumplimiento* para la usabilidad, eficiencia, mantenibilidad y portabilidad se elimina por considerarse no relevante para el dominio SIG. Los seis nuevos elementos incorporados tienen por objeto refinar el modelo para una completa evaluación.

Para la dimensión de funcionalidad, la compatibilidad se define como la capacidad del software de intercambiar datos, y mantener proyectos en general con otros paquetes software de su misma naturaleza. La disponibilidad evalúa las licencias y administrador de licencias del software para verificar si se garantiza el servicio de licenciamiento.

La verificación de calidad de datos por su parte permite contrastar la calidad de los datos de entrada y salida. Mientras la escalabilidad comprueba la capacidad del software para adaptarse sin contratiempos al incremento de carga de trabajo como resultado de la incorporación de nuevos usuarios, incremento del volumen de tráfico o la ejecución de transacciones más complejas.

Una subcaracterística importante de los SIG es la complejidad de personalización, definida como el conjunto de atributos del software que determinan la capacidad y facilidad de personalización del software a tareas específicas. Finalmente, el resguardo de datos recopila los atributos para la administración de usuarios y como se maneja el acceso a los datos desde el punto de vista de los recursos del sistema.

Características	Subcaracterísticas
Funcionalidad	Compatibilidad. Disponibilidad.
Fiabilidad	Verificación de calidad de datos. Escalabilidad.
Usabilidad	Complejidad de personalización. Cumplimiento de la Usabilidad.
Eficiencia	Resguardo de datos. Cumplimiento de la eficiencia.
Mantenibilidad	Cumplimiento de la mantenibilidad
Portabilidad	Cumplimiento de la portabilidad

Tabla 3: Características y subcaracterísticas modificadas para el modelo de calidad propuesto.

3.2. Definición de tipos de medidas.

Definidas las dimensiones del modelo (características y subcaracterísticas), y antes de definir los atributos que las describen, es pertinente señalar los tipos de medidas con los que el usuario las calificará. Para su definición se deben tener presentes algunas consideraciones:

- Es necesario que sean representados por elementos cuantitativos para poder ser operados.
- En caso de ser representado por un valor cualitativo, se debe buscar la forma de vincularlo a las demás medidas para su operación en las métricas definidas.
- Para algunos tipos de atributos quizá no sea suficiente expresar la medida de su comportamiento con un simple componente *booleano* o un número entero, tal vez el atributo requiera de una función que exprese de forma más adecuada su comportamiento dentro del sistema que esté evaluando.

Tomando como punto de partida la propuesta de (Vallecillo & Bertoa, 2002), se utilizarán los tipos de medidas definidos en la Tabla 4. Cada tipo será utilizado para calificar los atributos definidos así:

- Presencial (P): Indica si un atributo está presente en el componente o no.
- Tiempo (T): Mide intervalos de tiempo.
- Ratio (R): Expresa un porcentaje específico.
- Nivel (N): Indica un grado de esfuerzo, habilidad, etc.

Tabla 4: Tipo de medida para cuantificación de atributos.

Medida	Tipo	Dominio	Unidad	Símbolo
Presencial	Booleano	0-1		P
Tiempo	Entero		s/d/m	T
Nivel	Entero	0-4		N
Ratio	Entero	0-100	%	R

Respecto a la medida tipo Nivel, se establecen 5 niveles clasificados según se observa en la Tabla 5. En el caso del tipo de medida Presencial, se define la ausencia ó presencia de la característica mediante un valor *booleano*.

Tabla 5: Descripción de medidas.

Medida	Valor	Escala
Nivel	0	Muy bajo
	1	Bajo
	2	Medio
	3	Alto
	4	Muy alto
Presencial	0	Ausencia
	1	Presencia

Para los tipos de medida Ratio y Tiempo se expresa en términos de porcentaje y segundos respectivamente. Los porcentajes en un rango de 0 a 100 indican que tanto se acerca el software al cumplimiento de una norma, 100 indica que cumple totalmente. En casos como tiempos de instalación y configuración así como capacitación se puede cambiar la unidad de tiempo Segundo a Día o Mes.

Para la operación de los atributos cuantificados mediante el tipo de medida Tiempo, se hace una segunda clasificación para transformar de Tiempo a Nivel, de esta forma la operación en las métricas se hace más sencilla y efectiva. Esta transformación se realiza según se indica en la Tabla 6. Es de anotar que cada atributo al ser diferente requiere de una clasificación propia, esto no complica la implementación del modelo debido a los pocos atributos que se deben reclasificar.

Tabla 6: Reclasificación de atributos para tipo de medida Tiempo.

Valor	Atributo A (Año)	Atributo B (Mes)	Atributo C (Día)	Atributo D (Mes)
0	< 5	< 7	> 5	< 4.5
1	5 - 10	6 - 7	5	4 - 4.5
2	11 - 20	5 - 6	4	3.5 - 4
3	21 - 30	4 - 5	3	3 - 3.5
4	> 30	< 4	<= 2	< 3

Los atributos A, B, C y D corresponden en su orden a los tiempos: del producto en el mercado, para uso eficiente, para una adecuada configuración y para administración eficiente. Los valores corresponden a la misma escala presentada en la Tabla 5. La escala debe ser tenida en cuenta puesto que en la implementación del modelo el usuario seleccionará una escala y no un valor, por otro lado, la métrica operará con el valor correspondiente.

Una vez definidos las dimensiones y tipos de medida, es posible iniciar el proceso de definición de atributos, componente central del modelo de calidad para paquetes de software SIG. Los atributos corresponden a la forma en que

son descritas las características del modelo y a una *propiedad de calidad a la que puede asignársele una medida*. A través del análisis de múltiples herramientas SIG, recopilando conceptos y experiencia de personal experto en el manejo y manipulación del software SIG y en la implementación de proyectos, se han definido un total de 370 atributos para las dimensiones identificadas. Debido a su extensión, se omite el listado en este artículo, una completa descripción de los mismos puede ser consultada en la implementación del modelo o en (Siabato, 2005).

3.3. Definición de métricas.

A través de las métricas se operan cada una de las medidas con que son calificados los atributos que describen el dominio definido para la caracterización del modelo. En el modelo se establecen dos tipos de métricas: específicas y de carácter general. Las métricas específicas son definidas para entregar al usuario una calificación general del paquete que se esté evaluando, en este sentido, será una métrica que operará no medidas sino otras métricas derivadas del modelo, para este caso, métricas de carácter general, que se definen como el grupo de medidas que se utilizarán para cuantificar cada una de las dimensiones que conforman el modelo.

3.3.1. Indicador de calidad SIG.

Tal y como se ha mencionado a lo largo del artículo, el modelo pretende presentar un indicador que represente de manera directa y única la calidad del software SIG evaluado. Para ello, se establece una métrica de carácter específico representada en (1).

$$I = \sum_{i=1}^6 N_i W_i \quad (1)$$

Donde N_i representa cada una de las dimensiones que componen el modelo y W_i representa el peso que tiene cada una de las dimensiones. Para definir los pesos W_i , se realizó una encuesta a un grupo de especialistas SIG y a partir de las ponderaciones obtenidas se definieron los valores descritos en la Tabla 7. Para definir los pesos a partir de las calificaciones otorgadas por los especialistas, y teniendo en cuenta que éstas se encuentran en el rango 0 – 10 y deben ser normalizados al dominio de calificación definido para el modelo, 0-1, se utiliza la relación de normalización descrita en (2).

Dimensión	Valor	Peso
Funcionalidad	0.26	W_1
Fiabilidad	0.21	W_2
Usabilidad	0.17	W_3
Eficiencia	0.10	W_4
Mantenibilidad	0.16	W_5
Portabilidad	0.10	W_6

Tabla 7: Pesos de dimensiones para Indicador SIG.

$$W_i = \frac{\bar{\chi}_i}{\sum_{i=1}^6 \bar{\chi}_i} \quad (2)$$

Definidos los valores W_i , el siguiente paso es señalar las métricas para cada N_i (1). La forma como se definen depende de los tipos de medida que se involucren en los atributos que los describan.

3.3.2. Evaluación de subcaracterísticas.

Para la definición de métricas de las dimensiones se tienen en cuenta cada una de las subcaracterísticas que las componen. A diferencia del método utilizado en la definición del indicador I , cada una de las subcaracterísticas será operada teniendo el mismo nivel de importancia y no se definen pesos para cada una. Para la calificación de cada subcaracterística se determina un método según el tipo de medida P, T, N o R. Se establece el dominio de calificación en el rango 0-1. De este modo, el Indicador ó cualquier métrica estarán valorados en este dominio en la ejecución del modelo. Para el valor 1 la métrica representa cumplimiento total de la subcaracterística, por el contrario, 0 representa su ausencia. Teniendo en cuenta estas premisas se definen las métricas M_{TP} , M_{TT} , M_{TR} & M_{TN} según el tipo de medida.

$$M_{TP} = \sum_{i=1}^n \chi_i / n \quad (3)$$

Para la evaluación de atributos Tipo P se tiene en cuenta la expresión (3), donde X_i corresponde a la calificación P establecida por el usuario y n es el número de atributos tenidos en cuenta para la calificación cada subcaracterística. Con esta métrica se valoran elementos como Aplicabilidad, Exactitud, Interoperatividad, Seguridad y Disponibilidad.

Para la cuantificación de medidas tipo R, el método anterior es aplicable si se considera que el dominio de calificación R: 0-100 es equiparable con P: 0-1, por lo que la expresión (4) define la métrica para la evaluación de atributos Tipo R. Elementos como Compatibilidad y Cumplimiento de la funcionalidad son cuantificables con éste método.

$$M_{TR} = \frac{\sum_{i=1}^n \chi_i / n}{100} \quad (4)$$

Para las medidas tipo N, la forma de operar las calificaciones de los atributos es más compleja. Debido a la escala de calificación (Tabla 5) se puede afirmar que se está trabajando dentro del dominio de R_5 . Por lo tanto, la forma más adecuada de cuantificar los atributos relacionados a este tipo de medida, es aplicando la norma euclidiana. La expresión (5) representa la métrica para la medida tipo N. Donde X_i representa la calificación N establecida por el usuario entre 0 y 4, n al igual que en (3), es el número de atributos definidos para cada subcaracterística.

$$M_{TN} = \sqrt[2]{\frac{\sum_{i=1}^n \chi_i^2}{4\sqrt{n}}} \quad (5)$$

Finalmente, para la cuantificación de las medidas tipo T y teniendo en cuenta la reclasificación mencionada en la Tabla 6, en donde el dominio de calificación para T es homólogo a la medida tipo N, permite que la relación definida en (5) sea también aplicable a T, teniendo en cuenta el respectivo pre-proceso de reclasificación.

Las métricas definidas hasta este punto permiten encontrar los valores en condiciones ideales en las que todos los atributos sean calificados con el mismo tipo de medida, no obstante, existen subcaracterísticas como 'utilización de recursos' en la dimensión 'eficacia' que combinan tres o más tipos de medidas. Esto hace necesario definir un método de operación para definir un único valor por subcaracterística.

Para esto, se debe tener en cuenta que el resultado obtenido pertenezca al dominio de calificación del modelo, definiendo un caso de carácter general que permita encontrar el valor final independientemente si la subcaracterística es calificada con dos o más tipos de medida. La forma más sencilla de incorporar las medidas en el dominio es normalizando la operación a través de cocientes, por lo que se define (6) como la relación idónea para solucionar el problema planteado.

$$M_{TG} = \frac{\sqrt[2]{\sum_{i=1}^n \chi_i^2}}{\sqrt{n}} \quad (6)$$

Donde M_{TG} definido como la métrica de tipo general, es la calificación general de la subcaracterística. X_i corresponde a las métricas N, R, T ó P establecidas para los atributos que definen la subcaracterística & n es el número de diferentes medidas N, R, T ó P involucradas en la subcaracterística.

3.3.3. Cuantificación de dimensiones.

Al aplicar las métricas definidas a las subcaracterísticas que componen las dimensiones del modelo, se obtiene un valor entre cero y uno que representa el nivel de calidad para cada ítem calificado. Esta información puede ser útil para algún usuario que requiera comparar una subcaracterística en particular, la 'interoperatividad' por ejemplo, puede ser de interés en ciertos casos en la implementación de Sistemas de Información corporativos. Sin embargo, esta información no deja de ser un producto intermedio que se utiliza para el objetivo final, la presentación del Indicador de calidad SIG (1). Definidas las subcaracterísticas, solo falta definir el componente N_i . Sabiendo que cada uno de los resultados intermedios obtenidos ha sido normalizado, para obtener cada N_i solo basta con promediar las subcaracterísticas que lo componen. (7) representa la relación definida para obtener cada valor N_i .

$$N_i = \sum_{i=1}^n \theta_i / n \quad (7)$$

Donde u_i representa cada una de las subcaracterísticas de la dimensión y n es el total de subcaracterísticas que la componen.



De esta forma, se obtiene la métrica para cada dimensión y el usuario podrá valorar el resultado según sus necesidades y las del proyecto, además de contar con todos los elementos necesarios para calcular el Indicador que será la métrica final que determina que paquete de software SIG de los evaluados se ajusta mejor al proyecto que se desea implementar, o es sencillamente el más completo.

3.4. Presentación de resultados.

Los elementos que deben ser representados son el Indicador de calidad SIG y cada una de las métricas con que son evaluadas las dimensiones, para mostrar al usuario los resultados obtenidos se establecen dos métodos:

- Método Numérico. Un valor numérico que será el Indicador SIG (I) y con el cual se comparará de manera directa la calificación general de cada uno de los paquetes de software SIG evaluados.
- Método Gráfico. Un gráfico (Ameba) de 6 puntas en las que se representan cada dimensión del modelo. A partir de este gráfico, el usuario podrá evaluar rápidamente cual de las dimensiones tiene mayor calificación. Entre mayor sea el área de la figura obtenida, más alta será la calificación de las dimensiones y mayor el Indicador.

4. EVALUACIÓN DE PAQUETES.

Actualmente, en el mercado existen múltiples empresas que ofrecen diferentes soluciones para la implementación de Sistemas de Información Geográfica, entre las más destacadas se encuentran: Intergraph, MapInfo, MicroImages, Autodesk, Smallworld, Leica, Bentley & ESRI. Una vez definido el modelo, se evaluarán tres software SIG con el fin de validar el modelo propuesto. Por un lado el indiscutible líder del mercado ESRI®, presenta una completa solución SIG denominada ArcGIS™ ArcInfo, su versión más estable (9.0) será la que se utilizará para compararla con TNT 6.9, producto de la empresa MicroImages®, que ofrece un software de gran calidad y que en aspectos técnicos es fuerte competidor de ESRI®. El tercer software que será evaluado es Geomedia™ Professional de Intergraph®, software que ha mostrado de manera notable su evolución y su capacidad de adaptación a los diferentes estándares y medidas definidos por ISO y el OGC.

La implementación del modelo de calidad requiere de una herramienta en la que el usuario califique los atributos definidos sin tener que preocuparse por la operación de éstos a través de las métricas. La manera óptima de implementación consiste en desarrollar una herramienta *standalone*, multiplataforma, de fácil uso y alta flexibilidad en la selección de dimensiones. No obstante, y teniendo en cuenta que el objetivo del trabajo no es el desarrollo de una aplicación, pero es necesario verificar el modelo, se ha optado por implementar el conjunto de métricas desarrolladas en un libro de Microsoft® Office Excel, compuesto de ocho hojas, una para cada dimensión y dos para el despliegue de resultados: detallado y resumen.

El diseño del libro permite calificar hasta cinco software GIS diferentes. En él, el usuario califica cada atributo en el dominio que ha sido definido para cada tipo de medida, cada hoja tiene registrado los cambios de escala y las operaciones necesarias para generar la métrica correspondiente a las subcaracterísticas. La calificación resultante para cada subcaracterística es registrada al final de cada grupo de atributos que le definen.

Los resultados de la evaluación realizada a los tres paquetes mencionados son presentados en la Tabla 8 y Figura 1. Las métricas allí expuestas permitirán al director de proyecto o quien haga sus veces, tomar la mejor decisión soportándose en los valores resultantes para cada subcaracterística y en el Indicador de Calidad SIG resultado de la implementación de un modelo creado para tal fin y no producto de un juicio subjetivo.

Tabla 8: Indicador de calidad SIG y calificación de dimensiones para los software evaluados.

Dimensión	ArcGIS	Geomedia	TNT
Funcionalidad	0,900	0,892	0,968
Fiabilidad	0,932	0,811	0,840
Usabilidad	0,918	0,850	0,856
Eficiencia	0,855	0,862	0,868
Mantenibilidad	1,000	0,809	0,676
Portabilidad	0,772	0,780	0,905
Indicador (I)	0,909	0,840	0,859

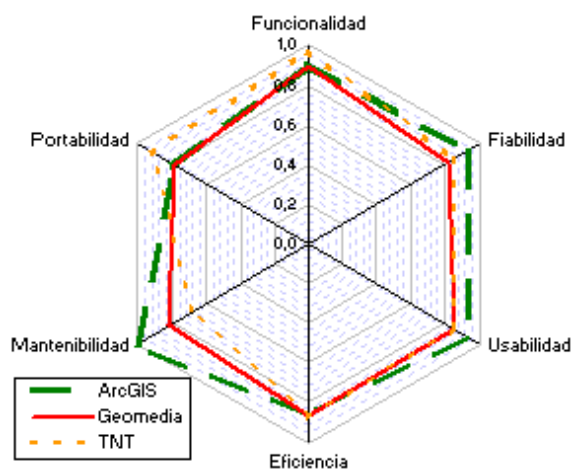


Figura 1: Representación de métricas.

El primer juicio que se deriva de los resultados obtenidos es que el software que mejor desempeño tiene según el Indicador de Calidad SIG es ArcGIS™, seguido por TNT y Geomedia. Es de anotar que esta calificación es de carácter general y obedece al desempeño global de los paquetes evaluados, y no bajo un conjunto de condiciones específicas que es como debería aplicarse el modelo, sin embargo, ofrece una idea muy amplia de que paquete reúne mayores cualidades.

No obstante, no se puede afirmar de manera apresurada que ArcGIS™ sea mejor que sus competidores, pues si se observa en la Figura 1 el software con mejor funcionalidad es TNT, esto implica que si el usuario está buscando exclusivamente un paquete con funciones y propiedades específicas que satisfagan sus necesidades, la elección adecuada es evidentemente TNT. Este tipo de análisis son posibles gracias a la calificación independiente de cada una de las dimensiones que derivan del modelo propuesto. Por otro lado, si el usuario desea un software que sea altamente adaptable, personalizable y configurable, que se ajuste a las necesidades de programación de nuevos módulos para la implementación de un SIG, el gráfico indica que la elección adecuada es ArcGIS™ con una calificación de 1.

5. CONCLUSIONES.

Es evidente como cualquier proyecto SIG debe elegir de forma adecuada cada uno de sus componentes, en este proyecto se ha tratado en específico la plataforma software sobre la cual será implementado. Teniendo en cuenta que en el mercado existe una gran variedad de productos, dicha plataforma debe ser seleccionada con criterios técnicos y teniendo en cuenta las necesidades directas de los usuarios. El modelo propuesto constituye un avance para la definición y selección de paquetes de software SIG, soportado en un estándar internacional y enfocado al cumplimiento de requerimientos de usuario y del proyecto. Además, ayuda de manera objetiva a los responsables de la elección de plataformas SIG a tomar su decisión fundamentada en criterios técnicos y una metodología segura y establecida para tal fin.

Este modelo es pionero en su estilo, si bien está basado en metodologías desarrolladas por otros autores, no existe actualmente modelos de calidad relacionados en el dominio de los Sistemas de Información Geográfica. Por otro lado, se proponen un conjunto de métricas completamente novedosas y que son aplicables a cualquier modelo de calidad derivado del estándar ISO/IEC 9126-1.

El modelo presentado establece la evolución típica entre medida, métrica e indicador. Cada uno de los atributos derivados del análisis de los SIG es cuantificado a través de una medida claramente establecida y definida dentro de un dominio, estas medidas son operadas mediante un conjunto de algoritmos robustos que generan una visión general del comportamiento de cada paquete evaluado para las dimensiones que componen el modelo. Finalmente, cada uno de los datos encontrados para las dimensiones es operado hasta generar el Indicador de Calidad SIG, objetivo primario de este trabajo.

Se define una metodología para soportar el diseño de proyectos SIG basado en normas internacionales, incorporando este tipo de proyectos al mundo de los estándares y la calidad.



6. REFERENCIAS.

- Bachmann, F., Bass, L., Chastek, G., Donohoe, P. & Peruzzi, F. (2000) *The Architecture Based Design Method*, Carnegie Mellon Software Engineering Institute, CMU/SEI-200-TR-001.
- Boëgh, J., Depanfilis, S., Kitchenham, B. & Pasquin, A. (1999) "A method for software Quality, Planning, Control and Evaluation", *IEEE Software*, 16 (2) 69-77
- Boehm, B. W., Brown, J. R., Kaspar, J. R., Lipow, M., McLeod, G. J. & Merritt, M. J. (1978) *Characteristics of software quality*, North Holland, Holland.
- Boehm, B. W., Brown, J. R. & Lipow, M. (1976) "Quantitative Evaluation of Software Quality", In: *2nd International Conference on Software Engineering -ICSE-*, San Francisco - USA 592-605
- Boehm, B. W., Brown, J. R., Kaspar, J. R., McLeod, G. J. & Merritt, M. J. (1973) *Characteristics of Software Quality*, TRW Software Series.
- Bosch, J. (2000) *Design & Use of Software Architectures*, Addison-Wesley, New York - USA.
- Calero, C., Ruiz, J. & Piattini, M. (2004) "A web metrics survey using WQM", In: *Fourth International Conference on Web Engineering*, Munich - Alemania
- Chirinos, L., Losavio, F. & Matteo, A. (2003) "Una clasificación de requisitos basada en vistas de calidad", In: *Jornadas Chilenas*.
- Crosby, P. B. (1991) *La organización permanece exitosa*, Mc. Graw Hill, México D.F. – México.
- Deming, E. W. (1991) *Calidad, Productividad y Competitividad*, Editorial Cuspide, Madrid – España.
- Feigenbaum, A. V. (1991) *Total Quality Control*, Mc. Graw Hill, New York – USA.
- Franch, X. & Carvallo, J. P. (2003) "Using Quality Models in Software Package Selection", *IEEE Software*, 20 (1) 34-41
- Instituto Alexander von Humboldt (2003) *Los Sistemas de Información Geográfica* <http://www.humboldt.org.co/humboldt/mostrarpagina.php?codpage=70001>
- Ishikawa, K. (2003) *¿Que es el control total de calidad? La modalidad Japonesa*, Grupo Editorial Norma, Bogotá D.C. – Colombia.
- ISO (2000) *International Standard ISO 9001:2000 Quality systems - Model for quality assurance in design, development, production, installation and servicing*.
- ISO, IEC, (2001) *International Standard ISO/IEC 9126-1. Software engineering -Product quality- Part 1: Quality Model*, ISO/IEC 9126.
- Juran, J. M. (1995) *Juran y la planificación para la calidad*, Diaz de Santos, Madrid – España.
- Li, Y. N., Tan, K. C. & Xie, M. (2002) "Measuring Web-based service quality", *Total Quality Management*, 13 (5) 685-700
- Losavio, F. (2002) "Quality Models to Design Software Architecture", *Journal of Object Technology*, 1 (4) 165-178
- McCall, J. A., Richards, P. K. and Walters, G. F. (1977) Factors in Software Quality, *NTIS AD-A049-014, AD-A049-015, AD-A049-055* US Rome Air Development Center Reports.
- Siabato, W. (2005) *Modelo de calidad para paquetes de software SIG*, MSc. Tesis. Universidad Pontificia de Salamanca. Facultad de Informática.
- Taguchi, G., Chowdhury, S. & Wu, Y. (2004) *Taguchi's Quality Engineering Handbook*, Wiley-Interscience, New York – USA.
- Vallecillo, A. & Bertoa, M. (2002) "Atributos de calidad para componentes COTS", In: *V Workshop Iberoamericano de Ingeniería de Requisitos y Ambientes Software - IDEAS 2002*, La Habana - Cuba 352-363