

Análisis comparativo de modelos y estándares para evaluar la calidad del producto de software

Alena González Reyes

Correo electrónico: agonzalez@ceis.cujae.edu.cu

Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba

Artículo Original**Margarita André Ampuero**

Correo electrónico: mayi@ceis.cujae.edu.cu

Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba

Anaisa Hernández González

Correo electrónico: anaisa@ceis.cujae.edu.cu

Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba

Resumen

A pesar del avance vertiginoso de la industria del software, aún persisten deficiencias en la calidad de los productos desarrollados. Existen diversos modelos y estándares que pueden servir de base para evaluar la calidad de los productos de software. En este sentido, se hace difícil para una organización identificar cuál resulta el más adecuado acorde con sus características, dado que la mayoría de los trabajos analizan muy pocos modelos y utilizan escasos criterios. Este trabajo tiene como objetivo analizar un conjunto de modelos y estándares orientados a evaluar la calidad de los productos de software con el propósito de identificar los que han sido más utilizados o referenciados, y los aspectos que caracterizan a cada uno de ellos. A partir de la bibliografía consultada, se identificaron un conjunto de criterios que sirvieron de base para realizar el análisis comparativo, entre los que se encuentran: características y subcaracterísticas de calidad abordadas, estructura, propósito, separación de elementos internos y externos, relaciones entre características de calidad, relación de las métricas con las características de calidad, tipo de proyecto al que se aplica, clasificación del modelo y tipo de calidad que evalúa. Como resultado se fundamenta la selección de la ISO/IEC 9126 y la ISO/IEC 25010, como los estándares más abarcadores tomando en cuenta los diversos criterios utilizados en la comparación.

Palabras claves: modelos de calidad, estándares de calidad, características de calidad de los productos de software

Recibido: 23 de febrero de 2015 Aprobado: 26 de junio de 2015

INTRODUCCIÓN

La Industria del software desde su surgimiento ha influido notablemente en el desarrollo de las empresas. Sin embargo, según el Reporte del Caos del año 2014 (Standish Group Report CHAOS 2014) [1], en el 43% de los casos, los proyectos de software no cumplen con el cronograma, el presupuesto o las funciones requeridas. Además, el 18% del total de los proyectos se cancelan antes de la terminación, o se entregan, pero nunca son

utilizados. Por lo tanto, resulta clave garantizar una adecuada calidad tanto del proceso y del producto. En el caso del producto, existen modelos y estándares para evaluar dicha calidad, como: el Modelo de McCall [2], el Modelo de Boehm [3], el Modelo de FURPS [4], la norma ISO/IEC 9126 [5] y la ISO/IEC 25010 [6].

Resulta muy conveniente que las organizaciones utilicen como base algún modelo o norma para evaluar la calidad de los productos de software que desarrollan. La realidad

es que existe una amplia gama de modelos, por lo que es difícil la selección. Por lo tanto, sería favorable determinar cuáles modelos o estándares poseen una visión más integradora de la calidad del producto de software o cuáles resultan más adecuados en función de sus potenciales y las características de las organizaciones. Si bien en la bibliografía se reportan análisis comparativos de los modelos y estándares de calidad, la mayoría se han realizado empleando pocos criterios como son: la estructura de los modelos [7], las características de calidad abordadas, algunas subcaracterísticas parcialmente tratadas o no abordadas y la cantidad de características de calidad comunes a varios modelos. Asimismo, la mayoría de los trabajos solo analizan un modelo o como máximo dos, con algunas características de calidad o varios modelos con escasas características de calidad como funcionalidad, usabilidad y facilidad de mantenimiento [8-10].

Adicionalmente, existen otros criterios definidos por reconocidos especialistas en calidad de software que permiten valorar de una forma más abarcadora los diferentes modelos y estándares de calidad del producto de software como pueden ser los definidos por: Mario G. Piattini [11] y Roger Pressman [12].

Todos los elementos anteriormente descritos hacen que la especificación, la medición y la evaluación de los atributos de calidad resulten procesos complejos para los distintos productos de software. Esto conlleva a que se precise identificar la mayor cantidad de criterios útiles para comparar diferentes modelos y estándares de calidad, y seleccionar el más adecuado.

El objetivo del artículo radica en analizar un conjunto de modelos y estándares orientados a evaluar la calidad de los productos de software con el propósito de identificar los que han sido más utilizados o referenciados, y los aspectos que caracterizan a cada uno de ellos. A partir de la bibliografía consultada se identificó un conjunto de criterios que sirvieron de base para realizar el análisis comparativo, entre los que se encuentran: características y subcaracterísticas de calidad abordadas, estructura, propósito, separación de elementos internos y externos, relaciones entre características de calidad, relación de las métricas con las características de calidad, tipo de proyecto al que se aplica, clasificación del modelo y tipo de calidad que evalúa.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el artículo se emplearon algunos métodos teóricos como el de análisis y síntesis; utilizado en este caso para estudiar, analizar y sintetizar los conceptos, las relaciones entre ellos y los planteamientos de la literatura especializada, acerca del tema de la presente investigación. Esto posibilitó la extracción del conocimiento útil y su consolidación en conclusiones propias u opiniones críticas. Además, se aplicaron los métodos inductivos, deductivo, analogía y comparación, en la identificación de regularidades, la búsqueda de tendencias y en su generalización. De igual forma, permitió definir el conjunto de criterios para la comparación de los diferentes modelos

y estándares de calidad, su ejecución y el establecimiento de los resultados en tablas integradoras.

El uso de los métodos sistémicos y el de generalización-concreción, se encuentra matizado por la definición de un conjunto de subcaracterísticas más utilizadas que componen las características de calidad, las cuales, a su vez, forman parte de los modelos y estándares de calidad más referenciados y aplicados. En este trabajo, el instrumento fundamental lo constituye la revisión bibliográfica acerca de la evaluación de la calidad de los productos de software, los modelos y los estándares asociados al tema.

RESULTADOS

A partir del análisis de los criterios que diferentes autores utilizan para valorar los modelos y estándares de calidad del producto de software [7, 9-11], se identificaron nueve como base para realizar la comparación. Estos criterios son:

1. Características y subcaracterísticas de calidad cubiertas.
2. Estructura de los modelos.
3. Propósito del modelo.
4. Separación de elementos internos y externos.
5. Relaciones entre características de calidad.
6. Relación de las métricas con las características de calidad.
7. Clasificación del modelo de calidad (fijo, medida y mixto).
8. Tipo de proyecto al que se aplica.
9. Tipo de calidad que evalúa.

En los estudios comparativos analizados se han identificado dos elementos comunes a todos los modelos y estándares de calidad: las características y subcaracterísticas de calidad cubiertas, y la estructura. El primero establece la jerarquía de características y subcaracterísticas de calidad definidas. La estructura de los modelos, comprende la relación entre el número de capas o nivel de profundidad del modelo y los tipos de elementos utilizados, en este caso de alto o bajo nivel para clasificar, detallar y evaluar características observables de los componentes de software.

El resto de los criterios se identificaron teniendo en cuenta los parámetros expuestos por especialistas de calidad, asociados a otros elementos que pudieran incidir en la selección de un modelo o estándar. El tercer criterio, propósito del modelo, comprende dos dimensiones específico-general y reutilizable-descartable. Para la empresa es importante tener en cuenta si un modelo es construido a la medida para un producto o proceso y un contexto organizacional dado, o si es aplicable a cualquier tipo de sistema. Esto se encuentra interrelacionado con el nivel de reusabilidad, medido a través de la segunda dimensión. La reusabilidad de un modelo de calidad se reduce al hacerlo más específico y se incrementa al ser más general.

Para evaluar la calidad del producto de software se deben considerar aspectos internos y externos. Sin embargo, los modelos y estándares de calidad existentes incluyen solo elementos internos, solo externos o ambos. Por lo tanto, surge el cuarto criterio denominado, separación de elementos internos y externos.

El quinto criterio, relaciones entre características de calidad, se identifica a partir de que existen relaciones de solapamiento, transversalidad y dependencia entre las características de calidad. Todo ello es necesario para determinar cuántas de ellas participan en la descomposición jerárquica de otras de niveles superiores, cuáles se definen y evalúan transversalmente, de manera diferente y el nivel de relación de una con otra (parcial o total).

Por otra parte, la evaluación del producto de software no es algo solamente cualitativo. Se ha de cuantificar mediante el uso de métricas asociadas al menos al grado más detallado de descomposición propuesto por la estructura del modelo y generalmente son las subcaracterísticas. De ahí que el sexto criterio sea la relación de las métricas con las características de calidad.

Relacionado con el propósito del modelo, se definió el séptimo criterio, identificado como clasificación del modelo de calidad (fijo, medida y mixto). Este vínculo es relevante dado que si es fijo el modelo su propósito será generalmente reutilizable, si es a la medida específico-descartable y en caso de ser mixto dependerá del grado de detalle con que se haya construido. La clasificación del modelo o estándar como fijo supone la inclusión de todas las características de calidad posibles y se utilizará un subconjunto para cada proyecto concreto. A la medida, implica que la definición de las características de calidad debe realizarse para cada proyecto a partir de los objetivos a alcanzar. Finalmente, si es mixto, propone un grupo de características de calidad más abstracto, reutilizable en la mayoría de los proyectos y refinado para uno en particular.

El octavo y noveno criterios resultan relevantes también para cualquier entidad vinculada al desarrollo de software a la hora de definir el proceso de selección de un modelo o estándar de calidad. Estos se identifican como el tipo de proyecto al que se aplica y el tipo de calidad que evalúa el modelo o estándar.

Una vez definidos los criterios a considerar es importante especificar los modelos y estándares a tener en cuenta para el análisis comparativo. A continuación se citan algunos de los más referenciados y utilizados para evaluar la calidad de los productos de software. Entre ellos se encuentran: Modelo de McCall [2], Modelo de Boehm [3], Modelo de FURPS [4], Modelo de Dromey [13], Norma ISO/IEC 9126 [5], Norma ISO/IEC 25010 [6], Modelo SATC (Software Assurance Technology Center) [14], Modelo C-QM (Comprehensive Quality Model) [14], Metodología SQAE (Software Quality Assessment Exercise) [15], WebQEM (Web Quality Evaluation Method) [16].

La comparación del primero de los criterios, características y subcaracterísticas de calidad cubiertas, se realiza de manera independiente del resto, para representar de una manera más clara la composición de elementos de calidad considerados por cada modelo o estándar. Con independencia de seleccionar un modelo u otro, resulta muy difícil evaluar todas las características de calidad. Cada modelo o estándar, presenta un grupo de características de calidad para evaluar el producto de software y a su vez, cada una de ellas cuenta con un conjunto de subcaracterísticas. Vale destacar que,

la mayoría de las propuestas existentes en la literatura no se encuentran estructuradas de una forma común y consistente entre sí. De ahí, que la terminología que utilizan, tanto desde el punto de vista sintáctico como semántico, no suela estar unificada respecto a las características de calidad. No obstante, resulta importante su priorización en dependencia de su cubrimiento por parte de los diferentes modelos y estándares de calidad. A partir de un estudio realizado respecto a los modelos y estándares más referenciados y utilizados, las características de software más empleadas, se encuentran numeradas en las filas de la primera columna de la tabla 1. El resto de las columnas se corresponden con los modelos y estándares considerados. En el cuerpo de la tabla se señalan las características cubiertas por cada modelo u estándar. La fila Total representa la cantidad de características abordadas por cada modelo o estándar.

De la tabla 1, es posible concluir que los modelos más abarcadores desde el punto de vista de la cantidad de características de calidad abordadas son los modelos de McCall (con 11), la ISO/IEC 25010 (con 8), Boehm (con 7), Dromey (con 7) y la ISO/IEC 9126 (con 6). Las características de calidad del producto de software más usadas son: la eficiencia (con 8), la confiabilidad (con 7), la facilidad de mantenimiento (con 7), la funcionalidad (con 7), la usabilidad (con 7) y la portabilidad (con 6).

Dado que las características de calidad se distribuyen de manera diferente en los modelos y estándares de calidad, se presentan en las filas de la primera columna de la tabla 2, el conjunto de subcaracterísticas correspondientes a los modelos y estándares evaluados. El resto de las columnas se corresponden con los modelos y estándares considerados. En cada celda del cuerpo de la tabla se indica por cada modelo la característica de calidad a la cual se encuentra asociada la subcaracterística analizada. Para especificar la característica de calidad se asigna el número expuesto en la primera columna de la tabla 1. La fila Total representa la cantidad de subcaracterísticas abordadas por cada modelo o estándar.

Al observar la tabla 2 se concluye que las subcaracterísticas más usadas o solapadas en la mayoría de las características de calidad son: la consistencia (con 8), la modularidad (con 8), la autodescripción (con 7), la conformidad estándar (con 7), la especificación (con 6), la completitud funcional (con 6), la estructura (con 6) y la documentación interna (con 6). Por otra parte, las subcaracterísticas presentes en el mayor número de modelos y estándares de los citados son: la precisión (con 7), la tolerancia ante fallos (con 6), el rendimiento (con 6), la seguridad (con 5), la consistencia (con 5), la completitud funcional (con 5), la comprensibilidad (con 5), la documentación interna (con 5), la documentación externa (con 5), la utilización de recursos (con 5), la modularidad (con 5), la idoneidad (con 4), la facilidad de recuperación (con 4), la adaptabilidad (con 4), la facilidad de operación (con 4), la atracción (con 4), la accesibilidad (con 4), la estabilidad (con 4), la madurez (con 4), la flexibilidad (con 4), la facilidad de diagnóstico (con 4) y la capacidad de ampliación (con 4).

Características de Calidad/ Modelos o Estándares de Calidad de Software	Boehm	Dromey	McCall	FURPS	SATC	C-QM	WebQEM	ISO/IEC 9126	ISO/IEC 25010	SQAE
1. Funcionalidad o Adecuación funcional		X		X	X	X	X	X	X	
2. Usabilidad o Facilidad de uso		X	X	X	X		X	X	X	
3. Integridad o Seguridad			X						X	
4. Corrección, Precisión o Exactitud			X							
5. Confiabilidad o fiabilidad	X	X	X	X			X	X	X	
6. Eficiencia o Rendimiento	X	X	X	X	X		X	X	X	
7. Facilidad de mantenimiento		X	X		X	X		X	X	X
8. Facilidad de prueba	X		X		X					
9. Flexibilidad, mutabilidad, Facilidad de modificación, Facilidad de cambio	X		X							
10. Facilidad de reutilización		X	X			X				X
11. Interoperabilidad			X							
12. Portabilidad o Facilidad de trasportación	X	X	X					X	X	X
13. Ingeniería humana	X									
14. Comprensibilidad, Facilidad de entendimiento, Descripción o Pertinencia del reconocimiento	X									
15. Soporte o Facilidad de soporte					X					
16. Compatibilidad									X	
17. Conformidad						X				
18. Capacidad de evolución o Capacidad de ampliación										X
Total	7	7	11	5	5	4	4	6	8	4

Subcaracterísticas de Calidad/ Modelos o Estándares de Calidad	Boehm	Dromey	McCall	FURPS	SATC	C-QM	WebQEM	ISO/IEC 9126	ISO/IEC 25010	SQAE
Idoneidad o Pertinencia funcional		6,7		1				1	1	
Precisión, Exactitud o Corrección	5	1,5	3	5	8			1	1	
Interoperabilidad								1	16	
Seguridad o Integridad				1	1	1		1	3	
Facilidad de recuperación				5			1	5	5	
Consistencia	5,14	1,2,5, 7,10,12	4,7	2						7
Adaptabilidad				15		1		12	12	
Generalidad o Comunalidad		7,10, 12	9,10			1				
Completitud funcional	5,12	1,2,5,7		1	1				1	
Comprensibilidad, Facilidad de entendimiento, Descripción o Pertinencia del reconocimiento				1	10	1,2	2	2		
Documentación interna		2,7,10, 12		2	2,7		1			7,10, 12,18
Documentación externa		2,7,10, 12		2	2,7		2			7,10, 12,18

Tabla 2 (continuación)											
Subcaracterísticas de Calidad/ Modelos o Estándares de Calidad		Boehm	Dromey	McCall	FURPS	SATC	C-QM	WebQEM	ISO/IEC 9126	ISO/IEC 25010	SQAE
Cohesión			7,10, 12					2			
Facilidad de operación		7	2						2	2	
Soporte o Facilidad de soporte							2				
Atracción o Estética de la interfaz de usuario					2			2	2	2	
Familiarización				2	2						
Comunicatividad	8, 13			2				2			
Volumen y tasa de entrada/salida				2							
Accesibilidad	6,8, 13	6,7						6		2	
Protección contra errores del usuario										2	
Facilidad de aprendizaje									2	2	
Subcaracterísticas de Calidad/ Modelos o Estándares de Calidad		Boehm	Dromey	McCall	FURPS	SATC	C-QM	WebQEM	ISO/IEC 9126	ISO/IEC 25010	SQAE
Estabilidad o Estabilidad de las modificaciones						1		2	7	7	
Control y auditoría de acceso				3							
Integridad de los datos				3							
No repudio										3	
Responsabilidad										3	
Autenticidad	1,5,7									3	
Compleción	1,5	4									
Trazabilidad			4		1						
Madurez				5				5	5	5	
Tolerancia ante fallos			5	5				5	5	5	7,18
Encapsulamiento		5,7, 10,12									
Especificación o Construido según las especificaciones		1,2,5,7, 10,12			1		10				
Poco acoplamiento		5,7, 10,12									
Simplicidad		6,7	5,7,8							7,18	
Disponibilidad				6			1			5	
Rendimiento o Comportamiento temporal	6		6	6			6	6	6	6	
Utilización de recursos			6	6	6				6	6	
Flexibilidad, Mutabilidad, Facilidad de Modificación, Facilidad de Cambio o Facilidad de cambio		1,5,7				7		7	7	7	
Abstracción		7,10				7					

Tabla 2 (continuación)

Subcaracterísticas de Calidad/ Modelos o Estándares de Calidad	Boehm	Dromey	McCall	FURPS	SATC	C-QM	WebQEM	ISO/IEC 9126	ISO/IEC 25010	SQAЕ
Ajustable		7,10, 12								
Parametrización		7,10, 12								
Modularidad		6,7	7,8,9,			7, 10			7	7,12, 18
Reusabilidad o Facilidad de reutilización					7				7	
Facilidad de diagnóstico o Facilidad de análisis				5			1	7	7	
Autodescripción	8,14		7,8,9, 10,12							7,10, 12,18
Instrumentación		2,6,7	8	15						
Facilidad de prueba				15				7	7	
Estructura	8,9, 14	1,5,7			7					
Capacidad de ampliación o Capacidad de evolución	9	7	9	15						
Independencia de la máquina	12		10,12							12
Confidencialidad									3	
Subcaracterísticas de Calidad/ Modelos o Estándares de Calidad	Boehm	Dromey	McCall	FURPS	SATC	C-QM	WebQEM	ISO/IEC 9126	ISO/IEC 25010	SQAЕ
Independencia del software de sistema		7,10	10,12							12
Datos comunes o Estandarización de los datos			2,11							
Comunicaciones comunes o Estandarización de las comunicaciones		1,5	11							
Facilidad de reemplazo								12	12	
Coexistencia								12	16	
Concisión	14		5,7							
Legibilidad	14				1					
Facilidad de instalación				15				12	12	
Facilidad de configuración				15						
Compatibilidad				15						
Conformidad estándar						17				
Conformidad respecto al modelo de referencia						17				
Total	12	26	24	24	12	10	15	22	31	9

Respecto a los restantes criterios, existen algunos elementos comunes a todos los modelos y estándares considerados. Específicamente, dentro del segundo, definido como estructura de los modelos, los tipos de elementos usados son de alto y bajo nivel. El valor del tercer criterio, propósito del modelo, es general-reutilizable para todos excepto para el modelo WebQEM, el cual es específico-reutilizable. El quinto criterio, relaciones entre características de calidad, presenta una dependencia parcial en todos los casos. La relación de las métricas con las características de calidad, sexto criterio, es común y las métricas se encuentran asociadas al nivel más detallado, o sea, las subcaracterísticas. Asimismo, vinculado con el octavo criterio, tipo de proyecto al que se aplica, todos coinciden en que pueden ser aplicados a proyectos Web, desktop y de otras categorías, a excepción del modelo WebQEM, asociado solamente a proyectos tipo Web.

En la tabla 3 se muestra la comparación de los modelos y estándares de calidad del producto de software definidos, en cuanto al resto de los criterios establecidos: número de capas, separación de elementos internos y externos, relaciones entre características de calidad (transversalidad, solapamiento), clasificación del modelo de calidad y tipo de calidad que evalúa. Es necesario destacar que el número de capas es parte de la definición del criterio estructura del modelo.

Respecto a los criterios de la tabla 3, los modelos más integradores son las ISO/IEC 9126 y 25010. Ambas contemplan la separación de los elementos internos y externos, son estándares mixtos y evalúan la calidad interna, externa y en uso.

DISCUSIÓN

Al analizar los estudios comparativos previos, se logra identificar que todos tienen en común la determinación de un conjunto de características y subcaracterísticas de calidad. El problema radica en que dichos elementos no se presentan ni definen de igual manera en los modelos y estándares de calidad. De los diez modelos y estándares citados, el 60% contempla como características de calidad la

funcionalidad, confiabilidad, usabilidad, eficiencia, facilidad de mantenimiento y la portabilidad. Estas características pudieran considerarse como básicas y necesarias si se considera que todo producto de software requiere el cubrimiento funcional de los requisitos especificados por el cliente y un nivel de usabilidad que determine su aceptación por parte del usuario final. Resulta importante también, saber el grado de confiabilidad, con vistas a garantizar la disponibilidad, la madurez y la tolerancia a fallos del sistema informático. La eficiencia, por su parte, es un aspecto vital para toda empresa, desde el punto de vista del producto de software, se ajusta fundamentalmente al tiempo de respuesta y al consumo de recursos de la máquina donde se encuentre desplegado. Por otro lado, el mantenimiento es un elemento que no se debe obviar, debido a que las soluciones informáticas tienen como finalidad perdurar en el tiempo, no funcionar de manera limitada, para un negocio específico y por un periodo finito. Asimismo, se hace necesaria la portabilidad de los sistemas en varias plataformas o entornos, dado el crecimiento de las tecnologías informática en la última década.

Por lo tanto, los modelos y estándares de calidad referenciados evalúan parcialmente la calidad del producto de software, debido a que no consideran en alguna medida las características de calidad básicas y necesarias para el proceso de evaluación del producto. Esto supone que el conjunto de características y subcaracterísticas de calidad no es criterio suficiente para validar la pertinencia de un modelo o estándar determinado. Consecuentemente, en el presente artículo se identificaron nueve criterios con vistas a refinar dicho proceso de selección, entre los cuales se encuentran: características y subcaracterísticas de calidad abordadas, estructura, propósito, separación de elementos internos y externos, relaciones entre características de calidad, relación de las métricas con las características de calidad, tipo de proyecto al que se aplica, clasificación del modelo y tipo de calidad que evalúa. A partir de la evaluación de los aspectos previamente citados, se obtuvieron un grupo de conclusiones importantes, las que se exponen a continuación.

Tabla 3**Cuadro comparativo de los modelos y estándares de calidad a nivel del producto**

Criterios/Modelos	Boehm	Dromey	McCall	FURPS	SATC	C-QM	WebQEM	ISO/IEC 9126	ISO/IEC 25010	SQAE
Número de Capas	4							3		
Separación de elementos internos y externos	X	X						X		X
		X			X					
Relaciones entre características de calidad	Transversalidad							X		
	Solapamiento	X				X	X			X
Clasificación del Modelo de Calidad	Fijo		X							
	Mixto						X			
Tipo de calidad que evalúa	Interna	X	X	X		X		X	X	
	Externa	X		X	X		X	X		
	En uso							X		

Al realizar un análisis de la tabla 1, se concluye que los modelos más completos desde el punto de vista de la cantidad de características de calidad abordadas son los modelos de McCall (con 11), la ISO/IEC 25010 (con 8), Boehm (con 7), Dromey (con 7) y la ISO/IEC 9126 (con 6). Se identificaron como los modelos con menor número de características de calidad cubiertas los modelos C-QM (4), WebQEM (4) y SQAE (4). En el caso del modelo de McCall no considera la funcionalidad, y sin embargo, es uno de los aspectos fundamentales que se deben tener en cuenta en los productos de software. Además, constituye una de las características de calidad más utilizadas por los modelos y estándares citados. El modelo de Boehm se encuentra limitado en cuanto a la evaluación de la calidad, pues no se enfoca en aspectos como la funcionalidad, la usabilidad, la seguridad y la facilidad de mantenimiento.

El modelo de Dromey tiene como deficiencia la no consideración de la seguridad y el hecho de que solo se enfoca en la calidad interna del producto. Las ISO/IEC 9126 y 25010, abarcan un número importante de características de calidad y entre sus subcaracterísticas se encuentra un conjunto de las características definidas en otros modelos. Ello se debe a que poseen como base el modelo de McCall fundamentalmente. Los modelos con menor número de características de calidad abarcadas son los modelos SATC y el SQAE. El primero solo contempla la facilidad de mantenimiento y de prueba. Mientras que el segundo utiliza únicamente la facilidad de mantenimiento, la portabilidad y la capacidad de evolución. Las características de calidad del producto de software más usadas son: la eficiencia (con 8), la confiabilidad (con 7), la facilidad de mantenimiento (con 7), la funcionalidad (con 7), la usabilidad (con 7) y la portabilidad (con 6).

Por otra parte, la tabla 2 refleja las subcaracterísticas más usadas o solapadas en la mayoría de las características de calidad: la consistencia (con 8), la modularidad (con 8), la autodescripción (con 7), la conformidad estándar (con 7), la especificación (con 6), la completitud funcional (con 6), la estructura (con 6) y la documentación interna (con 6). Además, las subcaracterísticas con el mayor grado de cubrimiento por parte de los modelos y estándares de calidad citados son: la precisión (con 7), la tolerancia ante fallos (con 6), el rendimiento (con 6), la seguridad (con 5), la consistencia (con 5), la completitud funcional (con 5), la comprensibilidad (con 5), la documentación interna (con 5), la documentación externa (con 5), la utilización de recursos (con 5), la modularidad (con 5), la idoneidad (con 4), la facilidad de recuperación (con 4), la adaptabilidad (con 4), la facilidad de operación (con 4), la atracción (con 4), la accesibilidad (con 4), la estabilidad (con 4), la madurez (con 4), la flexibilidad (con 4), la facilidad de diagnóstico (con 4) y la capacidad de ampliación (con 4).

Teniendo en cuenta las subcaracterísticas solapas y cubiertas coinciden: la consistencia, la modularidad, la documentación interna y la completitud funcional. Esto indica que no deben obviarse en el proceso de evaluación de la calidad del producto de software. Como aspecto importante cabe destacar, que en ocasiones algunas las

subcaracterísticas de calidad se consideran características en distintos modelos y viceversa.

Otro aspecto relevante consiste en que todos los modelos y estándares comparados contemplan tipos de elementos que son de alto y bajo nivel. En cuanto a la relación de las métricas con las características de calidad, las métricas se encuentran asociadas al nivel más detallado, las subcaracterísticas. Asimismo, resulta común en la mayoría de las propuestas estudiadas el hecho de que el propósito sea general-reutilizable a diferencia del modelo WebQEM cuyo propósito es específico-reutilizable.

Respecto a las relaciones entre características de calidad, se presenta una dependencia parcial en todos los casos, debido al grado de relación entre las características y subcaracterísticas de calidad. La relación de las métricas con las características de calidad, es común y las métricas se encuentran asociadas al nivel más detallado, o sea, las subcaracterísticas. Teniendo en cuenta el tipo de proyecto, los modelos y estándares citados se pueden utilizar en cualquier tipo sistema Web, desktop y de otras categorías, a excepción de la metodología WebQEM que solo es aplicable a aplicaciones Web.

Del análisis de la tabla 3 se deriva respecto al número de capas, que la mayoría de los modelos y estándares presentan tres: características, subcaracterísticas y métricas. Sin embargo, los modelos de McCall, Boehm y Dromey contienen cuatro, para representar un nivel superior de abstracción. La cuarta capa se corresponde con los usos principales, tales como operación, transición y utilidad.

En cuanto a las relaciones entre características de calidad se observa que en siete de los diez modelos y estándares contemplan el solapamiento, esto significa que contienen características o subcaracterísticas de calidad que participan en la descomposición jerárquica de otras niveles superiores.

Lo ideal sería que no existiera solapamiento ni dependencia entre los elementos mencionados anteriormente, debido a que si son independientes y únicos, se eliminan las afectaciones que pudieran tener las características y subcaracterísticas relacionadas con ellos. De no ser así, tanto el solapamiento como la dependencia deberían ser mínimos y parciales.

La transversalidad es una relación de solapamiento donde la característica o subcaracterística de calidad se define y se evalúa transversalmente. Puede considerarse positiva, desde el punto de vista que permite evaluar un mismo aspecto de calidad aplicado a todas las características. Es tratada únicamente en la ISO/IEC 9126 a través de la conformidad.

Otro criterio es la separación de los elementos internos y externos, concebida por los modelos de Boehm, McCall y por las normas ISO/IEC 9126 y 25010. También, en los modelos estudiados prevalece la clasificación de mixtos, lo cual es positivo teniendo en cuenta que abarcan las principales características de calidad, son reutilizables y es posible adaptarlos a proyectos particulares. En este caso seis de los diez especificados, contemplan dicha clasificación. Finalmente, los estándares que contemplan

los tres tipos de calidad a evaluar, interna, externa y en uso son la ISO/IEC 9126 y 25010. Al realizar un balance entre las características y subcaracterísticas presentadas por cada modelo o estándar de calidad, se concluye que los modelos más integradores son las ISO/IEC 9126 y 25010.

CONCLUSIONES

Para realizar la comparación de los modelos y estándares se identificó un conjunto de criterios que no eran contemplados en su totalidad por parte de los estudios previos. Entre ellos se encuentran: características y subcaracterísticas de calidad abordadas, estructura, propósito, separación de elementos internos y externos, relaciones entre características de calidad, relación de las métricas con las características de calidad, tipo de proyecto al que se aplica, clasificación del modelo y tipo de calidad que evalúa.

Las características de calidad del producto de software más usadas por los modelos y estándares considerados son: la eficiencia, la confiabilidad, la facilidad de mantenimiento, la funcionalidad, la usabilidad y la portabilidad.

Respecto a las subcaracterísticas de calidad, vale destacar que como resultado de la investigación se derivaron aquellas que son más solapadas o cubiertas por los diferentes modelos y estándares de calidad. Se deben emplear fundamentalmente las que poseen un mayor grado de cubrimiento. Entre ellas se encuentran: la precisión, la tolerancia ante fallos, el rendimiento, la seguridad, la consistencia, la completitud funcional, la comprensibilidad, la documentación interna, la documentación externa, la utilización de recursos, la modularidad, la idoneidad, la facilidad de recuperación, la adaptabilidad, la facilidad de operación, la atracción, la accesibilidad, la estabilidad, la madurez, la flexibilidad, la facilidad de diagnóstico y la capacidad de ampliación.

Como resultado del análisis del estudio comparativo se concluye que los estándares más completos son la ISO/IEC 9126 y 25010, pues son estándares mixtos, con un propósito general-reutilizable, con aplicabilidad en casi todo tipo de proyecto, capaces de evaluar la calidad interna, externa y en uso. Además, abarcan las características de calidad más utilizadas: confiabilidad, eficiencia, facilidad de mantenimiento, funcionalidad, usabilidad y portabilidad. También, contemplan las subcaracterísticas más empleadas: la precisión, la tolerancia ante fallos, el rendimiento, la seguridad, la consistencia, la completitud funcional, la comprensibilidad, la documentación interna, la documentación externa, la utilización de recursos, la modularidad, la idoneidad, la facilidad de recuperación, la adaptabilidad, la facilidad de operación, la atracción, la accesibilidad, la estabilidad, la madurez, la flexibilidad, la facilidad de diagnóstico y la capacidad de ampliación. De ellas, la ISO/IEC 9126 posee el 64% y la 25010 el 81%.

En general, la investigación realizada tiene como logros la identificación de los modelos de calidad más completos desde el punto de vista de las características y subcaracterísticas de calidad que abarcan. Los

aspectos novedosos se encuentran asociados al hecho de que aporta una visión más integral de los diferentes modelos y estándares de calidad, pues los compara teniendo en consideración un conjunto de criterios identificados, que en los análisis comparativos precedentes no eran contemplados. Además, se extrajo el conjunto de características y subcaracterísticas de calidad más empleadas según los modelos y estándares más referenciados en la bibliografía. Todo esto permite contar con una base estandarizada para la mayoría de los proyectos a desarrollar, lo cual no limita la incorporación de otros elementos de calidad en dependencia del tipo de proyecto.

REFERENCIAS

1. SThe_Standish_Group_International. "CHAOS Manifesto 2014. Value versus Success and Orthogonal" [en línea]. The Standish Group International, Incorporated. New York, USA [ref. enero 2015]. Disponible en Web: <http://www.versionone.com/assets/img/files/CHAOSManifesto2014.pdf> [consultado enero 2015].
2. McCALL, Jim A.; RICHARDS, Paul K.; WALTERS, Gene. F. "Factors in Software Quality, Concept and Definitions of Software Quality". Rome Air Development Center, United States Air Force Systems Command, Electronic Systems Division, The National Technical Information Service., Technical report number: RADC-TR-77-369. New York. November, 1977, 31 pp.
3. BOEHM, B. W. *Characteristics of Software Quality*. [en línea]. New York: North-Holland Pub.Co.American Elsevier, Systems and Energy Group. Amsterdam, Holland [ref. junio 1978]. Disponible en Web: <http://csse.usc.edu/csse/TECHRPTS/1976/usccse76-501/usccse76-501.pdf> [consultado octubre 2014].
4. GRADY, Robert B.; CASWELL, Deborah L. *Software Metrics: Establishing a Company-Wide Program*. New York, USA: Prentice-Hall, Inc. Upper Saddle River, 1987, 275 pp. ISBN: 0-13-821844-7.
5. International_Organization_for_Standardization. "ISO/IEC 9126-1 Information Technology-Software Quality- Part 1: Quality Model". International Standard. ISO/IEC 9126-1: 2002, 32 pp., The International Organization for Standardization Publisher, Geneva, Switzerland. 2002.
6. International_Organization_for_Standardization. "Software engineering - Software product Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) – System and software quality models". International Standard. ISO/IEC 25010:2011, 54 pp. The International Organization for Standardization Publisher. Geneva, Switzerland 2011.
7. SAINI, Rimmi; DUBEY, Sanjay Kumar; RANA, Ajay. "Analytical study of maintainability models for quality evaluation". *Indian Journal of Computer Science and Engineering (IJSE)*. Junio, 2011, vol. 2, núm. 3, pp. 449-455. ISSN:0976-5166. Disponible en web: <http://www.ijcse.com/docs/IJCSE11-02-03-111.pdf> [consultado octubre 2014].

8. **FILLOTTRANI, Pablo R.** "Calidad en el desarrollo de software. Modelos de calidad de software"[en línea]. Dpto. Ciencias e Ingeniería de la Computación, Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, Argentina [ref. febrero 2010]. Disponible en Web: <https://www.yumpu.com/es/document/view/18214221/calidad-en-el-desarrollo-de-software-modelos-de-calidad-de-#yp-mag-info-collapse-text> [consultado octubre 2014].
9. **JAMWAL, Deepshikha.** "Analysis of Software Quality Models for Organizations". *International Journal of Latest Trends in Computing*. Diciembre, 2010. vol. 1, núm.2, pp. 1-5. ISSN:2045-5364. Disponible en Web: <http://ijltc.excelingtech.co.uk/vol1issue2/04-vol1issue2.pdf> [consultado noviembre 2014]
10. **MORENO, J.; BOLAÑOS, L.; NAVIA, M.** "Exploración de modelos y estándares de calidad para el producto de software". *UIS Ingenierías. Revista de la Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas*. Febrero, 2010, vol. 9, núm.1, pp. 41-55. ISSN:2145-8456. Disponible en Web: <http://revistas.uis.edu.co/index.php/revistauisingenierias/article/view/1055> [consultado noviembre 2014].
11. **PIATTINI, Mario G.; CALERO, Coral; MORAGA, Ma. Ángeles.** *Calidad del producto y proceso software*. Madrid, España: Ra-Ma Editorial, 2010. 665 pp. ISBN:978-84-7897-961-5.
12. **PRESSMAN, Roger S.** *Ingeniería del Software . Un enfoque práctico*. New York, USA: McGraw-Hill Interamericana Editores S.A. de C.V. 7ma. ed. 2010. 808 pp. ISBN:978-6071503145.
13. **PEREIRA, Hugo.** "Modelo de calidad de software para desarrollo de sistemas en la Dirección General de Servicio Civil". ARANDU-UTIC. Junio, 2014. vol. 1, núm. 2, pp. 20-26. ISSN:2311-75-59. Disponible en Web: <http://www.dgsc.go.cr/dgsc/indiceGestion/6-TECNOL-INF-2013/PREGUNTA-6/Modelo-calidad-software-UTIC.pdf> [consultado diciembre 2014].
14. **SCALONE, Fernanda.** "Estudio comparativo de los modelos y estándares de calidad del software". Director: R. García. Tesis de maestría en calidad, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina, 2006.
15. **BANSIYA, J.; DAVIS, C.** "A Hierarchical Model for Quality Assessment of Object-Oriented Desings". *KAIST SE LAB*. 2002, vol. 28, núm. 1, pp. 2-17. ISSN:0098-5589. Disponible en Web: <http://ieeexplore.ieee.org/iel5/32/21111/00979986.pdf> [consultado septiembre 2014].
16. **PEÑALVA, Mirta.** "Un modelo de evaluación de la calidad de aplicaciones Web en e-government". Director: G. Rossi. Tesis presentada para obtener el grado de Máster en Ingeniería de Software, Universidad Nacional de la Plata, La Plata, Argentina, 2014.

AUTORES

Alena González Reyes

Ingeniera Informática, Profesora Asistente, Facultad de Ingeniería Informática, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba

Margarita André Ampuero

Ingeniera en Sistemas Automatizados de Dirección, Doctora en Ciencias Técnica, Profesora Titular, Facultad de Ingeniería Informática, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba

Anaiza Hernández González

Ingeniera en Sistemas Automatizados de Dirección, Doctora en Ciencias Técnicas, Profesora Titular, Facultad de Ingeniería Informática, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba

Comparative Analysis of Models and Quality Standards of the Software Product

Abstract

Despite the rapid advance of the software industry, there are still deficiencies in the quality of the products developed. There are various models and standards that can provide a basis for assessing the quality of software products. In this sense it is difficult for an organization to identify which is the most appropriate according to their characteristics, since most studies analyze very few models use a few criteria. This work aims to analyze a set of models and standards aimed at assessing the quality of software products in order to identify those that have been used or referenced, and aspects that characterize each. From the literature a set of criteria that were the basis for comparative analysis, among which are identified: quality characteristics and sub-characteristics, structure, purpose, separation of internal and external elements, relationships between quality characteristics, relationships between quality metrics and quality characteristics, type of project to which it applies, classification type and type of quality assessed. As a result is based on the selection of the ISO / IEC 9126 and ISO / IEC 25010, as the more comprehensive standards taking into account the various approaches used in the comparison.

Key words: quality models, quality standards, quality characteristics of software products