

Modelos de Evaluación y Mejora de Procesos: Análisis Comparativo

Manuel de la Villa¹, Mercedes Ruiz² e Isabel Ramos³

¹Depto. de Ing. Electr., Sistemas Informáticos y Automática. Universidad de Huelva

manuel.villa@diesia.uhu.es

²Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos. Universidad de Cádiz

mercedes.ruiz@uca.es

³Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos. Universidad de Sevilla

isabel.ramos@lsi.us.es

Resumen. Desde los albores de la disciplina de la ingeniería del software, queda patente la dificultad para que los artefactos generados alcancen un nivel de calidad óptimo dentro de unos límites de tiempo y coste. Dada la naturaleza lógica del producto, se asume que la calidad de un sistema software depende sobremanera de la calidad del proceso usado para desarrollarlo. Los modelos de evaluación y mejora de procesos y su estandarización, han tomado un papel determinante en la identificación, integración, medición y optimización de las buenas prácticas existentes en la organización y desarrollo software. El presente trabajo pretende repasar aquellos modelos de mayor difusión (ISO 9001, CMMI y SPICE), centrándose en su evolución y estructura, aspectos clave, aplicando comparativas y comentando el estado actual de cada estándar. Por último intentaremos destacar las aportaciones del modelado y simulación del proceso software con sistemas dinámicos como herramienta de mejora de los procesos de una organización dentro de los anteriores estándares.

1. Introducción y motivación

En 1968, se celebraba en Garmish (Alemania) la primera conferencia sobre Ingeniería del Software, la NATO SEC, donde ya se ponía de manifiesto el ‘rudimentario estado de desarrollo’ en comparación con otras disciplinas y su difícil crecimiento en un entorno de demanda creciente de sistemas mayores y más sofisticados. Se acuñaba el famoso término ‘crisis del software’ o ‘crisis gap’ para referirse a la gran cantidad de recursos malgastados en la producción de software [43]. Un objetivo claro es la mejora de la calidad, el movimiento TQM fundamenta la afirmación de que ‘La calidad de un sistema software se rige por la calidad del proceso usado para desarrollarlo’ [28]. Han sido varias las instituciones y consorcios desarrollados teniendo como motivación la mejora de esta situación a través de la mejora del proceso. Entre los resultados de estas entidades se encuentran recapitulaciones y catálogos de buenas prácticas y modelos de proceso basados en esas buenas prácticas, dando lugar a una rama de investigación como es la evaluación y mejora del proceso software.

* La investigación asociada a este artículo ha sido posible gracias a la financiación por parte del Ministerio de Ciencia y Tecnología del proyecto CICYT TIN2004-06689-C03-03.

La evaluación de un proceso [31] se define como el examen disciplinado de los procesos usados en una organización junto a un conjunto de criterios para determinar la capacidad de esos procesos para ser realizados dentro de los objetivos de calidad, coste y planificación. El propósito es caracterizar la práctica actual, identificando debilidades y fortalezas y la habilidad del proceso para controlar o evitar las causas de baja calidad, desviaciones en coste o planificación.

Así, en 1984, el Depto. de Defensa (DoD) de los Estados Unidos establece al SEI (Software Engineering Institute) de la Univ. Carnegie Mellon como Centro de Investigación y Desarrollo financiado con la misión de liderar los avances para la mejora de la calidad de los sistemas dependientes del software [35]. ISO plasma los estándares de calidad y desarrollo en 1987 con la norma ISO 9000, un conjunto de estándares internacionales para sistemas de calidad; en particular ISO 9001 e ISO 9000-3 son aplicables al proceso software y a organizaciones de desarrollo software [42]. La necesidad del DoD de determinar la capacidad de sus contratistas antes del contrato lleva al SEI, bajo la dirección de W. Humphrey al desarrollo de técnicas de evaluación y valoración de la capacidad que dan lugar al desarrollo y publicación, en agosto de 1991, del Capability Maturity Model para software (CMM 1.0). Antes había publicado [27] y [28]. Durante el mismo intervalo de tiempo, la Comisión Europea esponsorizó un proyecto llamado BOOTSTRAP, con el objetivo de acelerar la aplicación de técnicas de ingeniería del software a la industria del software europea. Por su parte, ISO e IEC crean un Joint Technical Committee (JTC1) en Tecnologías de la Información, en junio de 1989. El proyecto SPICE (Software Process Improvement and Capability determination) es una actividad del WG 10 del Subcomité 7 del ISO/IEC JTC1, un estándar internacional para procesos de desarrollo software que provea de un marco de trabajo uniforme para gestión e ingeniería del software. El número de modelos y estándares ha seguido creciendo, dando lugar a un panorama ‘fangoso’ [55] para una empresa que tuviera que escoger un modelo para la evaluación y mejora de su proceso de desarrollo (Fig. 1). ¡Y faltan algunos como Trillium o BOOTSTRAP!

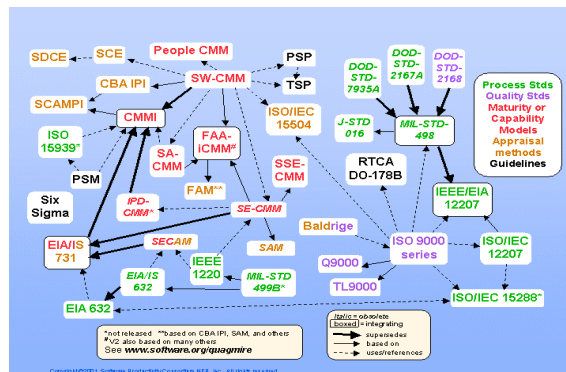


Fig. 1. “www.software.org/quagmire”. El lodzal de los Modelos de Proceso.

De acuerdo con inspecciones y encuestas recientes en todo el mundo [60], el estándar ISO 9001 es el más popular en el mundo de la ingeniería del software, seguido de CMM e ISO/IEC 15504 (SPICE), y en esos (y por este motivo) vamos a centrar nuestro estudio.

El presente trabajo pretende plasmar, dentro de sus posibilidades, el estado actual y la reciente evolución (y la futura, cuando sea posible) de los estándares más significativos, un estado del arte que será la base de futuros trabajos.

2. ISO 9001

ISO 9000 es un conjunto de estándares internacionales para sistemas de calidad. Diseñado para la gestión y aseguramiento de la calidad, especifica los requisitos básicos para el desarrollo, producción, instalación y servicio a nivel de sistema y a nivel de producto.

2.1 Evolución del estándar

Fue primeramente publicado en 1987, revisado en 1994 y actualizado nuevamente en el año 2000 (con un compromiso de ser revisado cada 5 años). La versión del 94 establecía un conjunto básico mínimo de requisitos para el establecimiento y mantenimiento de la gestión del sistema de gestión y aseguramiento de la calidad para la ingeniería del software. Identificaba 20 áreas principales (MTA's) y 177 resultados de gestión. Se concibe como una metodología de procesos basada en una lista de comprobaciones o requisitos a cumplir, umbral de calidad, valorado apto o no apto. Y esta simplicidad es la que la ha hecho mundialmente extendida.

La retroalimentación de los usuarios, el desarrollo de los modelos de evaluación y mejora continua y las críticas especializadas hacen que se requiera un estándar que:

- Emplee una aproximación de gestión basada en el proceso.
- Sea compatible con otros sistemas de gestión (p.ej. ISO 14000).
- Incluya requisitos para la mejora continua del sistema de calidad.
- Coincida con las necesidades de los participantes externos (p.ej. clientes, proveedores,...)
- Sea amigable al usuario y al cliente.

Estas mejoras son recogidas en la ISO 9001:2000, donde se produce un movimiento desde una aproximación prescriptiva, basada en el procedimiento a unas prácticas de gestión de la calidad modernas basadas en una aproximación orientada al proceso, en la búsqueda de la satisfacción del cliente y la mejora continua.

2.2 Estructura del estándar

La nueva familia de estándares es la siguiente:

- ISO 9000, Fundamentos y vocabulario.
- ISO 9001, Requisitos para aseguramiento de la calidad.
- ISO 9004, Directrices para la mejora del rendimiento.
- ISO 9011, Directrices para la auditoría de los sistemas de gestión de la calidad y/o ambiental.

ISO 9001 e ISO 9004 se han desarrollado como un par coherente de normas, complementándose. Mientras ISO 9001 se centra en la eficacia del sistema de gestión de la calidad para dar cumplimiento a los requisitos del cliente, ISO 9004 se recomienda para organizaciones que persiguen la mejora continua, sin afán certificador.

El estándar se basa en un conjunto de Principios de Gestión de la Calidad:

Enfoque al cliente, Liderazgo, Implicación de todo el personal, Enfoque a procesos, Enfoque del sistema hacia la gestión, Mejora continua, Enfoque objetivo hacia la toma de decisiones y Relaciones mutuamente beneficiosas con los proveedores.

Las cinco secciones en que se divide ISO 9001:2000 son:

4. QMS Sistema de Gestión de la Calidad (Requisitos generales y Requisitos de la documentación).
5. Responsabilidad de la Gestión (Compromiso de la dirección, Enfoque al cliente, Política de la calidad, Planificación,...).
6. Gestión de los Recursos (Provisión de recursos, Recursos humanos, Infraestructura, Ambiente de trabajo).
7. Realización del Producto (Planificación de la realización del producto, Procesos relacionados con los clientes, Diseño y desarrollo, Compras, Prestación del servicio, ...).
8. Medición, Análisis y Mejora (Generalidades, Supervisión y Medición, Control de servicio no-conforme, Análisis de datos, Mejora).

2.3 Puntos fuertes y débiles

En la literatura científica, podemos encontrar considerable información sobre las motivaciones y beneficios cualitativos de la adopción de ISO, como se enumera en [59] o [7].

Se podría concluir que la motivación se basa en las siguientes 4 razones: mejora de la imagen y de la reputación de la compañía, satisfacer requisitos externos y presión del mercado, facilitar y simplificar la relación con cliente y mejora de la productividad, organización y operativa del sistema de gestión de la calidad.

De ISO 9001:2000 podríamos destacar positivamente, según [42]:

- Amplia aplicabilidad, en cualquier industria y entorno.
- Afecta la mayoría de las áreas funcionales de una organización, esto es, gestión, recursos humanos, producción, ingeniería y calidad.
- Reconocimiento y apariencia internacional, marca de reconocido prestigio.
- Libertad de implementación y de interpretación de los requisitos.
- Incrementa las oportunidades de negocio en ciertos mercados y mejora la satisfacción del cliente.

Dos estudios clásicos sobre los beneficios para la organización de implantar ISO 9001 son [29] y [30] que reconocen entre otros, los siguientes:

- Incremento de la productividad.
- Menos repeticiones de trabajo o trabajos en balde.
- Incremento de la satisfacción del empleado.
- Mejora continua.
- Incremento en los márgenes.

A ISO 9001:2000 se le critica:

- Es muy general, no proporciona información de cómo aplicarlo a empresas de menor tamaño, tampoco proporciona directrices para su implementación en varias industrias.

- A causa de la amplia aplicabilidad del estándar ISO, hay pocas directrices para su implementación en algunas industrias o campos específicos. Tampoco existen directrices para su aplicación en una división o en una sucursal de una gran empresa. Para ISO 9001:1994, otro estándar, ISO 9000-3, se publicó como una guía para interpretar ISO 9001 para el software.
- A pesar de estar ISO 9004:2000 dedicado a la mejora del proceso, sigue la estructura de ISO 9001 y apunta alguna explicación de lo que se espera, pero se queda corto en entregar un mapa para implementar el proceso de mejora. Cuando se lee ISO 9004, uno no sabe que áreas dirigir primero y cuáles después.

En cuanto a pruebas empíricas, sólo hemos podido encontrar encuestas de satisfacción entre usuarios [4], que revelan, p.ej., que los más importantes beneficios como resultado de la aplicación de ISO 9000:2000 como herramienta de mejora:

- Uso de los datos medidos como herramienta de gestión de negocio (45.6%).
- Más efectivas revisiones al modo de gestionar (41.9%).
- Incremento del compromiso de gestión (39.2%).
- Mejora de la satisfacción del cliente (30.4%).

El propio ISO Technical Committee TC176 está realizando en su web una encuesta para recoger la experiencia de los usuarios con las ediciones del año 2000 de los distintos estándares, para publicarlos en su encuentro anual, en diciembre de 2004.

Destacamos un estudio empírico interesante [10], que concluye que el trabajo de certificarse lleva a una mejora sustancial del rendimiento, (medible en ROA, 'return on assets') pero difícil de justificar la mejora interna financiera, usando herramientas financieras clásicas como análisis coste-beneficio, o sea, ganancia en aspectos cualitativos más que ahorro monetario directo. También destacar que empresas que fallan en la certificación, obtienen un empeoramiento paulatino de sus resultados.

En el apartado más crítico, [63] critica los resultados de anteriores trabajos cuantitativos y afirma que la evaluación de la significancia estadística entre costes y beneficios del registro ISO 9000 muestra que la influencia en resultados financieros es baja a corto plazo, no inmediato pues se compensa con los altos costes de implantación y sólo planteable a largo plazo (más largo, cuanto más pequeña sea la empresa).

3. CMMI

El modelo CMMI constituye un marco de referencia de la capacidad de las organizaciones de desarrollo de software en el desempeño de sus diferentes procesos, proporcionando una base para la evaluación de la madurez de las mismas y una guía para implementar una estrategia para la mejora continua de los mismos.

3.1 Evolución del estándar

La primera aproximación a la mejora de procesos aparece en el trabajo de Walter Shewhart [56], con sus principios de control estadístico de la calidad. Estos principios fueron refinados por W. E. Deming [11] y J. Juran [34]. W. Humphrey, R. Radice y otros, desarrollaron aún más estos principios y empezaron a aplicarlos al software en su trabajo en IBM y el SEI. Humphrey proporciona una descripción de los principios y conceptos básicos en que se basan la mayoría de los modelos de madurez en [28]. Mark Paulk y otros en el SEI crearon el primer modelo de madurez de capacidad, diseñado para organizaciones de desarrollo software y lo publican en [57].

CMM dirige su enfoque a la mejora de procesos en una organización, estudia los procesos de desarrollo y produce una evaluación de la madurez (indicador para medir la capacidad para construir un software de calidad) de la organización según una escala de cinco niveles (inicial, repetible, definido, dirigido y optimizado). Los modelos contienen los elementos esenciales de procesos efectivos para una o más disciplinas y describen el camino para evolucionar y mejorar desde procesos inmaduros a procesos disciplinados, maduros con calidad y eficiencia mejorada y probada.

Propiciado por su rápido éxito y por demanda de modelos en otros ámbitos, se publica una pléyade de modelos para otras disciplinas y funciones: People CMM (1995), Systems Engineering CMM (1995), Integrated Product Development (1996), Software Acquisition CMM, FAA-CMM, Trillium,...

Mientras algunas organizaciones encontraban estos modelos útiles, también encontraban que se solapaban sobremanera, que a veces eran contradictorios, escasamente limpios con interfaces ininteligibles, escasa estandarización y mezclando diferentes niveles de detalle.

El proyecto de integración de CMM o CMMI fue puesto en marcha para desarrollar un marco de trabajo simple para la mejora de procesos, para organizaciones que persiguen la mejora en todos los ámbitos y niveles de la empresa.

3.2 Estructura del estándar

Basándose en SE-CMM y EIA 731 (que recogían la representación continua de los borradores del modelo SPICE [2]), CMMI presenta dos representaciones del modelo: continua (capacidad de cada área de proceso) y/o por etapas (madurez organizacional).

En la representación por etapas, se da un mapa predefinido, dividido en etapas (los niveles de madurez), para la mejora organizacional basado en procesos probados, agrupados y ordenados y sus relaciones asociadas. Cada nivel de madurez tiene un conjunto de áreas de proceso que indican donde una organización debería enfocar la mejora de su proceso. Cada área de proceso se describe en términos de prácticas que contribuyen a satisfacer sus objetivos. Las prácticas describen las actividades que más contribuyen a la implementación eficiente de un área de proceso; se aumenta el 'nivel de madurez' cuando se satisfacen los objetivos de todas las áreas de proceso de un determinado nivel de madurez.

Tabla 1. Áreas en representación por etapas y en representación continua

N. de madurez de la organiz.	Centrado en	Áreas de Proceso	Categoría
5. Optimizado	Mejora continua del proceso	-Análisis y resolución de causas de desviaciones. -Innovación y despliegue a toda la organización	Soporte G. Proceso
4. Gestionado cuantitativamente	Control cuantitativo del proceso	-Gestión cuantitativa de los proyectos. -Entendimiento cuantitativo del rendimiento de los procesos de la organización.	G. Proyecto G. Proceso
3. Definido	Proceso caracterizado por la organización y proactivo	-Desarrollo de los requisitos -Soluciones técnicas -Integración de productos -Verificación -Validación -Enfoque de procesos en organización -Definición de procesos en organización. -Entrenamiento y formación -Gestión integrada de proyectos -Gestión del riesgo -Análisis y resolución de las decisiones -Entorno organizativo para la integración -Equipo para desarrollo integrado	Ingeniería Ingeniería Ingeniería Ingeniería Ingeniería G. Proceso G. Proceso G. Proceso G. Proyecto G. Proyecto Soporte Soporte G. Proyecto
2. Gestionado	Gestión básica del proyecto	-Gestión de requisitos -Planificación de proyectos -Monitorización y control de proyectos -Gestión de acuerdos con proveedores. -Medición y análisis -Aseguramiento de la calidad del producto y del proceso -Gestión de la configuración	Ingeniería G. Proyecto G. Proyecto G. Proyecto Soporte Soporte Soporte
1. Inicial	Proc. impredecible, control reactivo		

En la representación continua, enfocamos la capacidad de cada área de proceso para establecer una línea a partir de la que medir la mejora individual, en cada área. Al igual que el modelo por etapas, el modelo continuo tiene áreas de proceso que contienen prácticas, pero éstas se organizan de manera que soportan el crecimiento y la mejora de un área de proceso individual.

Ambas representaciones incluyen Metas (Genéricas y Específicas, definiciones de resultados a obtener por la implementación efectiva de los grupos de prácticas) y Prácticas (Genéricas y Específicas, acciones a realizar para cumplir objetivos de área de proceso). El modelo de programa de mejora continua de procesos que propone SEI se llama IDEAL (Initiating, Diagnosing, Establishing, Action, Learning).

3.3 Puntos fuertes y débiles

No cabe duda de que CMM, tanto por su difusión y resultados reportados, ha sido un modelo exitoso. Por ello, a priori, dadas las similitudes, debemos esperar que CMMI ofrezca también

brillantes resultados en incremento de la productividad, más rápida respuesta al mercado, reducción de defectos, disminución de costes, planificaciones fiables,...

Son numerosos los casos de estudio, p.ej. [6][17][24][40][41], y los estudios sistemáticos basados en ellos, [32][9][15][16][18][19][22][25][36][37][48] probando la mejora sustancial que supone la participación en una iniciativa de mejora de procesos basado en modelos de madurez y realizando interesantes comparativas entre metodologías.

Sin embargo, por lo reciente de los nuevos estándares que estamos revisando, han quedado anticuados y aún hay pocos resultados cuantitativos publicados sobre CMMI. SEI publicó un informe especial [17] y su actualización [20] que, si bien no es estadísticamente significativo, presenta 'evidencia cuantitativa creíble' de las mejoras en rendimiento y calidad obtenidas en 12 casos de estudio, tanto en coste (ahorros y disminución en coste de encontrar y reparar errores), planificación (disminución del tiempo necesario para terminar tareas y aumento de la fiabilidad de las predicciones sobre estimaciones), calidad (reducción de tasa de defectos), satisfacción del cliente como retorno de la inversión.

Entre sus fortalezas podríamos destacar [42]:

- Inclusión de las prácticas de institucionalización, que permiten asegurar que los procesos asociados con cada área de proceso serán efectivos, repetibles y duraderos.
- Guía paso a paso para la mejora, a través de niveles de madurez y capacidad (frente a ISO).
- Transición del 'aprendizaje individual' al 'aprendizaje de la organización' por mejora continua, lecciones aprendidas y uso de bibliotecas y bases de datos de proyectos mejorados.

En [35] podemos ver influencias positivas de CMMI en el proceso de mejora, como qué prácticas genéricas y áreas de proceso de ingeniería aportan un camino de mejora de la capacidad de cada área de proceso en la representación continua, respuesta rápida y guiada a nuevas demandas de las necesidades del negocio, o la inicial priorización de los esfuerzos, o la puesta en marcha de funciones de gestión de proyectos, que darán soporte al resto del proceso.

Algunas de sus debilidades son:

- El CMMI puede llegar a ser excesivamente detallado para algunas organizaciones.
- Puede ser considerado prescriptivo.
- Requiere mayor inversión para ser completamente implementado.
- Puede ser difícil de entender.

En [35] también se recogen influencias negativas de CMMI en el proceso de mejora, en sus dos representaciones, como, p.ej., dar la idea de que sólo se pueden mejorar áreas de proceso del actual nivel de madurez, centrarse más en alcanzar el siguiente nivel de madurez, más que la mejora medible de los objetivos de negocio de la organización, o que se preste excesiva atención a aspectos de gestión, dejando a un lado aspectos técnicos, o que podamos mejorar áreas de proceso según nuestro interés obviando las relaciones y dependencias entre ellas.

En [39] los autores discuten pros y contras de la aplicación en pequeñas empresas:

- No existencia de una guía a medida de pequeñas organizaciones. Reconocen que inicialmente se dirigía a grandes corporaciones, pero la representación continua permite seleccionar sólo aquellas áreas de proceso de interés (asumible por pequeñas empresas).

- Simplemente demasiado grande para pequeñas organizaciones. Crecimiento cuasi-exponencial del número de áreas y prácticas, tiempo, recursos y costes, pero si se alinean los procesos a las necesidades de la organización, se beneficiarán de un proceso estructurado.
- ROI (Retorno de la inversión) no ha sido validado aún en CMMI.
- CMMI resalta la ingeniería de sistemas frente a la ingeniería del software. SW-CMM exitoso, mercado es empresas de software, pero los interfaces con otros sistemas, con hardware o con responsables de otra parte del sistema mejoran el esfuerzo en ingeniería del software.
- CMMI es demasiado normativo, en especial con pequeñas organizaciones que, además, funcionan y evolucionan de distinta manera que las grandes.
- CMMI parece escrito para organizaciones ya maduras y vagamente escrito para ser usado en valoraciones.

En [23][39][35][62], se recopilan y se desmontan mitos y tópicos sobre CMMI que circulan por la comunidad de la ingeniería del software, generados por marketing, percepciones erróneas, frases controvertidas o contradictorias en foros públicos, etc.

En [8] se recogen el estudio práctico de un caso así como las lecciones aprendidas en su aplicación. En [46] se recoge un ejercicio de estimación de ROI que otorga a CMMI una tasa de 5:1, que es la media que reconoce el SEI en las evaluaciones realizadas, aunque en [47], el mismo autor con un método e información algo más elaborada, se queda en el 173%.

En cuanto al trabajo actual en este estándar [45], cabe indicar que se trabaja en: el desarrollo del 'Modulo de Adquisición', breve sinopsis de elementos críticos en las relaciones con contratistas; en el establecimiento de un compromiso de estabilidad, no cambiar los modelos en 3 años y establecer un periodo de cambio nominal de 5 años; en la planificación de CMMI v.1.2 (recepción de peticiones de cambio, proceso de revisión y desarrollo de actualización) previsto para finales de 2006 (aunque sólo está previsto cambios en aspecto de seguridad, adquisición, diseño hardware, el método de evaluación basado en CMMI (SCAMPI), training, pero no cambios estructurales);esfuerzo de recolección de datos cuantitativos económicos (p.ej. ROI, 'return on investment') de los beneficios de la implantación de CMMI.

En [2] se recoge cómo piensan los autores que va a evolucionar en el futuro CMMI (Soporte a Innovación, Universal-CMM, Representación única parcialmente por etapas,...)

4. ISO 15504 (SPICE, Software Process Improvement and Capability dEtermination)

ISO/IEC 15504 es un emergente estándar internacional de evaluación y determinación de la capacidad y mejora continua de procesos de ingeniería del software, con la filosofía de desarrollar un conjunto de medidas de capacidad estructuradas para todos los procesos del ciclo de vida y para todos los participantes. Es el resultado de un esfuerzo internacional de trabajo y colaboración y tiene la innovación, en comparación con otros modelos, del proceso paralelo de evaluación empírica del resultado.

4.1 Evolución del estándar

En 1991 [49], ISO/IEC JTC1/SC7 aprueba un estudio para investigar la necesidad y los requisitos para un estándar de evaluación del proceso software, llegando a la conclusión (1992) de que había consenso internacional. El proceso de desarrollo y validación empírica (proyecto SPICE) se ha alargado diez años. En 1998 se publica la primera versión del estándar como Informe Técnico (en 1995 se publica como ‘borrador’), evolucionando posteriormente hasta Estándar Internacional, con la realización de tres fases de pruebas, la Fase 1 (1995) con la idea de validar la decisiones de diseño y usabilidad del borrador, la Fase 2 (1996-1998) que a los objetivos anteriores sumaba proveer de una guía de aplicación y revisar la consistencia, validez, adecuación, usabilidad y portabilidad de SPICE. La Fase 3 (hasta marzo de 2003, en que se cierra el proyecto SPICE) se realiza con la idea de aportar entradas y publicar el estándar ISO. Tras los Trials comienza la fase de Benchmarking (actual fase), con la idea de recolectar datos de los procesos de evaluación y analizarlos y comienza la publicación de partes del estándar.

ISO/IEC 15504 inicialmente absorbe la escala de puntuación de capacidad de CMM, las actividades de proceso de ingeniería de ISO/IEC 12207, Trillium y CMM, la representación de capacidad basada en perfiles de atributos de BOOTSTRAP y la experiencia del sistema de gestión de la calidad general de ISO 9001 [61].

4.2 Estructura del estándar

ISO/IEC desarrolla un modelo 2-D de evaluación de la capacidad del proceso, donde se valora la organización de desarrollo software en la dimensión del proceso contra los atributos del proceso en la dimensión de capacidad. La primera versión estructuraba el modelo en nueve partes, pero en el curso de los debates y votaciones, en aras de reducir el tamaño del estándar, se decide que se divida en cinco partes:

- Parte 1. Conceptos y Vocabulario. En publicación (7/10/04)
- Parte 2. Realizando una Evaluación (Requisitos, normativa). Publicado (30/10/03).
- Parte 3. Guía para Realización de Evaluaciones. Publicada (6/1/04)
- Parte 4. Guía para el Uso de Resultados de Evaluaciones. Publicada (6/7/04)
- Parte 5. Un Modelo de Evaluación de Procesos Ejemplar. Supera votación CD2 (Sep.04), votación FDIS (estimado diciembre de 2004)
- ISO/IEC 12207 AMD 2. En publicación (enero de 2004)

La versión 1.0 inicialmente recogía treinta y cinco procesos agrupados en cinco categorías (Cliente-Proveedor, Ingeniería, Proyecto, Soporte y Organización). Sin embargo, la idea de expandir el ámbito de aplicación del estándar evitando restringirlo a un determinado ciclo de vida, la compatibilidad con ISO/IEC 12207 e ISO/IEC 15288 y con cualquier modelo posterior, permite la evolución del estándar para aceptar Modelos de Referencia de Procesos (PRM's) eliminando la inicial dimensión de procesos. La medida de capacidad (véase tabla 4), es aplicable a cualquier modelo de procesos plasmado en un PRM compatible con ISO 12207. Esto le confiere una infraestructura mucho más abierta, facilitando la compatibilidad.

Tabla 2. Modelo de Capacidad de Procesos [49]

Id.	Nivel de Capacidad	Atributos de Proceso y Descripción
CL[0]	Incompleto	El proceso no está implementado o falla en alcanzar su propósito. No es fácil identificar los productos o salidas de los procesos.
CL[1]	Realizado	El propósito del proceso se logra generalmente, aunque no sea rigurosamente planificado ni llevado a cabo. Hay productos identificables que testifican el alcance del propósito.
PA.1.1		Realización del Proceso.
CL[2]	Gestionado	El proceso es gestionado y los entregables resultado de procedimientos específicos, planificados y seguidos, con requisitos de calidad, tiempo y recursos.
PA.2.1		Gestión de la Realización.
PA.2.2		Gestión de los Productos del trabajo.
CL[3]	Establecido	Un proceso realizado y gestionado usado un proceso definido, basado en un principios de buenas prácticas de ingeniería del software.
PA.3.1		Definición del Proceso.
PA.3.2		Despliegue del Proceso.
CL[4]	Predecible	El proceso definido es puesto consistentemente en práctica dentro de límites de control establecidos para alcanzar metas del proceso ya definidas. Entendimiento cuantitativo de la capacidad del proceso y habilidad mejorada de predecir y gestionar el rendimiento.
PA.4.1		Medición del Proceso.
PA.4.2		Control del Proceso.
CL[5]	En optimización	Realización del proceso optimizada en la búsqueda de las necesidades actuales y futuras del negocio. Objetivos cuantitativos de eficiencia y efectividad se establecen en función de los objetivos de la organización. Optimización puede llevar a estudiar y adoptar ideas innovadoras o productos tecnológicos novedosos que incluyan y modifiquen el proceso definido.
PA.5.1		Innovación del Proceso.
PA.5.2		Optimización del proceso.

4.3 Puntos fuertes y puntos débiles

Como ha quedado recogido en los apartados anteriores, SPICE ha sido un proyecto de lenta maduración, que ha variado mucho desde su borrador inicial en 1995, hasta los modelos que están acabando de ser publicados. Muchas de las críticas o mejoras propuestas a lo largo de estos años por diversos autores, han sido recogidas así como ciertos aspectos positivos (como la representación continua del modelo) han sido adoptadas por otros.

Cabe destacar el considerable número de estudios de evaluación empírica realizados, pudiendo revisar sus conclusiones más significativas en [33], en cuanto a validez predictiva, veracidad de la capacidad, demostración de su capacidad para identificación de fuerzas, debilidades y riesgos así como dirigir y priorizar el proceso de mejora. Trabajos previos en la misma línea pueden revisarse en [13][14].

Según [61], evaluando su versión 1.0, sus mayores contribuciones han sido:

- Primer modelo de procesos de 2 dimensiones, dimensiones independientes para los procesos y la capacidad.
- El resultado de una evaluación de proceso puede ser representado por un perfil de proceso, una gráfica de 2 dimensiones.
- Inicialmente recogía una escala refinada de procesos de 9 atributos y 6 niveles, que posteriormente fue mejorada con la desaparición de de la escala de procesos y la adopción de los PRMs.
- Define un conjunto de criterios de conformidad para permitir la comparación de modelos externos de procesos y encontrar requisitos comunes.

Por el contrario, temas abiertos eran:

- Pensaba que el dominio de procesos debería ser más amplio para abarcar todos los posibles ciclos de vida (algo no necesario por la adopción de modelos externos, los PRMs) y que era difícil que todos los atributos de proceso fueran universales, aplicables a todos los procesos y prácticas base.
- La dimensión capacidad ha alcanzado un alto grado de dificultad y existen solapamientos con la dimensión procesos.
- La complejidad de las evaluaciones (y por consiguiente el costo) es significativamente más alta que en otros modelos.

Por último, en sus conclusiones, al valorar el panorama de distintos estándares existentes, afirma la necesidad de pruebas de la efectividad y el impacto de la adopción de estos modelos de mejora tanto en la ingeniería del software como en otros campos y resalta la necesidad de búsqueda de integración y facilidad para la evolución que deben adoptar los estándares, aspectos que, aunque no lo recoja el autor, están resueltos por SPICE frente a otros modelos.

En [49] se afirma que el desarrollo de ISO 15504 ha acercado a lo mejor de los expertos internacionales en evaluación de procesos, y a través de la sinergia de estas relaciones ha llevado a significativos avances en el estado del arte y en la argumentación teórica del proceso [33]. Así, en [12] encontramos un reconocimiento a la influencia de SPICE en el desarrollo de CMMI.

Merecen ser destacados los estudios sobre implantación de SPICE en pequeñas empresas [58], y de lo inadecuado del uso de SPICE para metodologías ágiles [38].

5. Aspectos comunes y comparativas de modelos

Aquí pretendemos reflexionar sobre la esclavitud creativa de los estándares, la base teórica o rigurosidad formal de los modelos, sobre las comparativas existentes entre modelos, así como recoger documentos que realizan mapeos entre modelos.

Hay una corriente de autores, p.ej. [5], que consideran que los estándares reducen la autonomía de los desarrolladores, siendo experimentada como una carga, restricciones coercitivas, ahogando la creatividad requerida en el desarrollo de software innovador, veneran al proceso, ignorando a las personas. Frente a esta postura, está la que defiende que esta interdependencia (frente al trabajo autónomo) toma una forma colaborativa [1], niveles de proceso maduros llevan a un proceso de desarrollo más 'socializado', el esfuerzo colaborativo aumenta la eficiencia y efectividad.

Otra crítica habitual es que muchas veces en el ámbito de la mejora de procesos, los medios se olvidan del fin. Debe evitarse que el verdadero objetivo de mejorar el proceso se desplace a la misión artificial de alcanzar un mayor nivel de madurez.

También se critica la ausencia de base teórica formal y la vaguedad del soporte empírico. Aunque la aparición de la Teoría de la Evaluación, un marco teórico de propósito general que define los diferentes tipos de métodos de evaluación y sus parámetros [54], ha aportado resultados iniciales esperanzadores [3], ninguno de los actuales métodos de evaluación, la siguen. En este último estudio aparece una comparativa de rigurosidad formal de los modelos más difundidos así como un experimento de aplicación comparativa.

Por otro lado, es difícil discernir en el estudio de los resultados empíricos, la parte correspondiente de la mejora a la aplicación de un estándar, en lugar de otro.

No existen comparativas actualizadas entre los modelos estudiados, por lo que, como referencia, se aportan una taxonomía comparativa [21] y una recopilación de estudios comparativos, tanto cuantitativos como cualitativos, económicos y técnicos de diferentes estándares [48].

En cuanto a comparativas y mapeos entre áreas clave, con la desaparición de la dimensión Proceso, esta carece de sentido con SPICE por lo que entre ISO 9001 y CMM destacaremos [42] y [44]. [42] destaca la sinergia entre ambos y [55] el que cada vez más compañías consideren el uso conjunto de CMMI e ISO 9000 para aumentar la eficacia del proceso de mejora.

A modo de resumen, presentamos un cuadro comparativo con las principales características de cada modelo:

Tabla 3. Comparativa entre modelos analizados

	ISO 9001:2000	CMMI	ISO 15504
Ámbito de aplicación	Genérico	Software y Sistemas	Software y Sistemas
En su favor	El más extendido y sencillo	El de mayor prestigio	Más consensuado y probado
En su contra	Simple, general, no guía paso a paso	Difícil de entender, mayor inversión, prescriptivo	Difícil en capacidad, complejo para evaluar
Procesos	Estructura propia	Estructura propia	Delega en ISO 12207, por mayor aplicabilidad
Validación	Encuestas satisfacción	Encuestas satisfacción y casos de estudio	'Trials' y esfuerzo empírico
Objetivo	Cumplimiento de requisitos de calidad por procesos	Mejora del proceso, determinación capacidad contratista	Valoración del proceso y guía para la mejora.
Representación	Plana	Continua y por	Continua (por

		etapas	etapas a nivel de proceso)
Técnicas análisis	Guías y listas de comprobación	Cuestionarios de evaluación	Varios
Método para mejora de procesos	Ninguno, guía ISO 9004	IDEAL, mapa guiado	SPICE 4ª Parte

6. Conclusiones y futuros trabajos

Sin duda, el campo de la mejora y evaluación de procesos es muy prolífico y emergente, un campo muy activo de trabajo. Cabe resaltar cómo las evoluciones de los principales estándares siguen líneas que parecen confluir, y SPICE parece haber sido el desencadenante de esta puesta en común de soluciones.

Pero quedan importantes temas abiertos, como el acercamiento de estos estándares a las pequeñas y medianas empresas, como la adecuación para dar soporte a metodologías de desarrollo ligeras, como la creciente necesidad de evidencias que den sostén a la eficacia e impacto de la ingeniería del software y en la industria de software no convencional. Uno de los mayores problemas para la cuantificación de los resultados de un SPI (o SPA) es la naturaleza del proceso de desarrollo software, amalgama tecnológico-social-intelectual de difícil expresión teórico-matemática.

Por esta propia naturaleza parece justificado apostar por el uso del modelado de sistemas dinámicos para la expresión formal de estos modelos tan complejos.

La simulación del proceso de desarrollo de software se utiliza en la actualidad como una herramienta de ayuda en la resolución de problemas en distintas actividades de la ingeniería del software, como la gestión estratégica del desarrollo [51], la investigación en la mejora de procesos [52][53] o la formación en gestión de proyectos.

En trabajos previos se ha desarrollado un marco dinámico integrado para la mejora de procesos software (DIFSPI) [50], pretendiendo ofrecer una metodología y un entorno de trabajo que combine las ventajas de las técnicas de estimación tradicionales y del uso de modelos dinámicos para asesorar en los procesos de evolución de la madurez de una organización de acuerdo con CMM.

La evolución seguida en los últimos años por los estándares de mayor difusión, la convergencia en la importancia de los modelos continuos de proceso (frente a los modelos por etapas), la separación en dos dimensiones, de la capacidad y del proceso, y la posibilidad de adopción de Modelos externos de Referencia de Proceso, compatibles con estándares de ciclos de vida, que permitirá la comparación de distintos modelos, abren nuevas vías de investigación para futuros trabajos.

Referencias

1. Adler P.S.: Practice and Process: The Socialization of Software Development. MOR Working Paper Series 03-12. Univ. Southern California <http://www.si.umich.edu/ICOS/adlerpaper.pdf> (2003)
2. Ahern D., Clouse A., Turner R.: CMMI(R) Distilled: A Practical Introduction to Integrated Process Improvement, Second Edition. Addison-Wesley (Sep.2003)
3. Ares J. et al.: A more Rigorous and Comprehensive Approach to Software Process Assessment. Software Process: Improvement and Practice. 5:3-30 (2000)
4. ASQ Standards Group: ISO 9000:2000 Product Support Initiative. Web Survey results in http://qualitypress.asq.org/iso9000/ISO_Curves.pdf (2004)
5. Bach J.: The Inmaturity of CMM. American Programmer (Sept. 94)
6. Butler K.: The Economic Benefits of Software Process Improvement. CrossTalk 8, 7 :14-17 (Jul. 95)
7. Casadesus M., Giménez G.: The benefits of the implementation of the ISO 9000 standard: empirical research in 288 Spanish companies. The TQM Magazine, vol 12 issue 6, 432-441 (2000)
8. Chrissis M.B., Konrad M., Shrum S.: CMMI®: Guidelines for Process Integration and Product Improvement. Addison Wesley (Feb. 2003)
9. Clark B.: The Effects of Software Process Maturity on Software Development Effort. PhD Thesis, University of Southern California (Abril 1997)
10. Corbett C.J., Montes M.J., Kirsch D.A., Alvarez-Gil M.J.: Does ISO 9000 certification pay? ISO Management Systems. Special Report: 31-40 (Jul-Ago 2002)
11. Deming, W. E.: Out of the Crisis. Cambridge, MA: MIT Center for Advanced Engineering (1986)
12. Dorling A., Kitson D.H.: The Impact of ISO/IEC 15504 on CMM Integration Effort. TickIT International. 2Q99. Pag.9 (1999)
13. El-Emam K., Birk A.: Validating the ISO/IEC 15504 Measure of Software Requirements Analysis Process Capability. IEEE Transactions on Software Engineering. Vol.26, N°6 (Jun. 2000)
14. El-Emam K., Birk A.: Validating the ISO/IEC 15504 Measure of Software Development Process Capability. The Journal of Systems and Software, 51 119-149 (2000)
15. El-Emam K., Goldenson D., McCurley J., Herbsleb J.: Modeling the Likelihood of Software Process Improvement: An Exploratory Study. Empirical Software Engineering 6, 3. 207-229 (Sep. 2001)
16. El-Emam K., Goldenson D.: An Empirical Review of Software Process Assessments. Advances in Computers 53: 319-423 (2000)
17. Goldenson D.R., Gibson D.L.: Demonstrating the Impact and Benefits of CMMI: An Update and Preliminary Results. CMU/SEI-2003-SR-009 (Oct. 2003)
18. Goldenson D., El-Emam K., Herbsleb J., Deephouse C.: Empirical Studies of Software Process Assessment Methods. in K. El Emam and N. H. Madhavji (eds.): Elements of Software Process Assessment and Improvement. Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society Press (1999)
19. Goldenson D., Herbsleb J.: After the Appraisal: A Systematic Survey of Process Improvement, Its Benefits, and Factors that Influence Success. CMU/SEI-95-TR-009 (1995)
20. Goldenson D.R., Gibson D.L., Ferguson R.W.: Why Should I Switch to CMMI®? Initial Evidence about Impact and Value Added. 3rd. Annual CMMI Technology Conference and User Group: Track on Impact and Benefits of CMMI. Pittsburgh (Nov. 2003).
21. Halvorsen C.P., Conradi R.: A Taxonomy to Compare SPI Frameworks. Lecture Notes In Computer Science archive. Proceedings of the 8th European Workshop on Software Process Technology citation (Jun. 2001)
22. Harter D. E., Krishnan M. S., Slaughter S. A.: Effects of Process Maturity on Quality, Cycle Time, and Effort in Software Product Development. Management Science 46, 4: 451-466 (Abr. 2000)
23. Heinz L.: CMMI Myths and Realities. CrossTalk (Jun. 2004)
24. Herbsleb et al.: Benefits of CMM-Based Software Process Improvement: Initial Results. CMU-SEI-94-TR-13. SEI-CMU (1994)
25. Herbsleb J., Zubrow D., Goldenson D., Hayes W., Paulk M.: Software Quality and the Capability Maturity Model. Communications of the ACM 40, 6: 30-40 (Jun 1997)

27. Humphrey W., Sweet W.: A Method for Assessing the Software Engineering Capability of Contractors (Tech. Rpt. CMU/SEI-87-TR-23). Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, USA (1987)
28. Humphrey, W. S.: Managing the Software Process. Reading, MA: Addison-Wesley (1989)
29. ISO 9000 Survey: Chicago, IL: Irwin Professional Publishing and Dun & Bradstreet Information Services (1996).
30. ISO 9000 Survey: New York, NY: Plexus Corporation and McGraw Hill (1999).
31. ISO/IEC TR 15504-1:1998 Information Technology – Software Process Assessment – Part 1: Concepts and Introductory Guide.
32. Jones C.: Software Assessments, Benchmarks and Best Practices. Addison Wesley. (Dic. 99)
33. Jung H-W., Hunter R., Goldenson DR., El-Eman K.: Findings from Phase 2 of the SPICE Trials. Software Process Improvement and Practice. 6: 205-242 (2001)
34. Juran J. M.: Planning for Quality. New York: Macmillan (1988)
35. Kasse, T.: Practical insight into CMMI®. Artech House Publishers. (Mayo 2004).
36. Krasner, H.: The Payoff for Software Process Improvement: What It Is and How to Get It. in K. El Emam and N. H. Madhavji (eds.): Elements of Software Process Assessment and Improvement, Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society Press, 1999.
37. Krishnan M.S., Kellner M. I.: Measuring Process Consistency: Implications for Reducing Software Defects. IEEE Transactions on Software Engineering 25, 6: 800-815 (Nov/ Dec 1999)
38. Krums V., Patovaara M., Dorling A.: SPICE in the eXtreme – a case of agility. Joint ESA - 3rd International SPICE Conference on Process Assessment and Improvement (Mar. 2003)
39. Kulpa M.K., Johnson K.A.: Interpreting the CMMI: A Process Improvement Approach. Auerbach Publications (2003)
40. Lebsanft L.: Bootstrap: Experiences with Europe's Software Process Assessment and Improvement Method. Software Process Newsletter 5: 6-10 (1996)
41. McGarry F., Burke S., Decker B.: Measuring the Impacts Individual Process Maturity Attributes Have on Software Projects” 52-60. Proceedings of the 5th International Software Metrics Symposium. IEEE Computer Society Press, 1998.
42. Mutafelija B., Stromberg H.: Systematic Process Improvement using ISO 9001:2000 and CMMI. Artech House Computing Library. (2003)
43. Naur P., Randell B. (Eds.): Software Engineering: Report of a conference sponsored by the NATO Science Committee, Garmisch, Germany, 7-11 Oct. 1968, Brussels, Scientific Affairs Division, NATO (1969)
44. Paulk M.C.: How ISO 9001 Compares with the CMM. IEEE Software (Ene. 1995)
45. Rassa B., Chittister C.: CMMI Today: The Current State. 3rd. Annual CMMI Technology Conference and User Group: Track on Impact and Benefits of CMMI. Pittsburgh. (Nov. 2003).
46. Rico D. F.: How to Estimate ROI for Inspections, PSP, TSP, SW-CMM, ISO 9000, and CMMI. DoD Software Tech News. Volume 5, number 4. (Nov. 2002) <http://www.softwaretchnews.com/stn5-4/inspections.html>
47. Rico D. F.: ROI of Software Process Improvement: Metrics for Project Managers and Software Engineers. J. Ross Publishing (2004)
48. Rico D. F.: Using Cost Benefit Analyses to Develop Software Process Improvement (SPI) Strategies [DACS Technical Report]. Rome, NY: Air Force Research Laboratory/Information Directorate (AFRL/IF), Data and Analysis Center for Software (DACS). (2000) <http://www.dacs.dtic.mil/techs/abstracts/rico.html>
49. Rout T.P.: ISO/IEC 15504 – Evolution to an International Standard. Software Process Improvement and Practice. 8: 27-40 (2003)
50. Ruiz M., Ramos I., Toro M. A dynamic integrated framework for software process improvement. Software Quality Journal, 10, pp.181-194. Kluwer Academic Publishers (2002)
51. Ruiz M., Ramos I., Toro M. A Simplified Model of Software Project Dynamics. The Journal of Systems and Software 59/3, 29-309 (2001)

52. Ruiz M., Ramos I., Toro M. Software Process Improvement Achievement through Process Simulation. X Software Quality Management, pp. 27-41. Eds. G. King, M. Ross, G. Staples and T. Twomey. Limerick (Ireland) (Mar. 2002)
53. Ruiz M., Ramos I., Toro M.: Using Dynamic Modeling and Simulation to Improve the COTS Software Process. PROFES 2004: 568-581 (2004)
54. Scriven M.: Evaluation Thesaurus. Sage Publications: Newbury Park, CA (1991)
55. Sheard, S.: Evolution of the Frameworks Quagmire. IEEE Computer Magazine V34n7 (Jul. 2001) pp96-98
56. Shewhart, W. A.: Economic Control of Quality of Manufactured Product. New York: Van Nostrand (1931)
57. Software Engineering Institute: The Capability Maturity Model: Guidelines for Improving the Software Process. Reading, MA: Addison-Wesley (1995)
58. Tuffley A., Grove B., McNair G.: SPICE for Small Organizations. Software Process: Improvement and Practice. Vol.9 Issue 1. 23-31 (Sep 2004).
59. Ussahawanitchakit W., Tansujah P.: Effectiveness of ISO 9000 Adoption, Export Marketing Strategy, and Performance: A Case Study of Thai and U.S. Firms. The Seventh International Conference on Global Business and Economic Development (2003)
60. Wang Y., Court I., Ross M., Staples G., King G. and Dorling A.: Towards Software Process Excellence: A survey report on the best practices in the software industry, ASQ Journal of Software Quality Professional, Vol. 2, No. 1, Dec., pp.34-43 (1999)
61. Wang Y.: Software Engineering Standards: Review and Perspectives. World Scientific Publishing (Ene-2002)
62. West M.: Real Process Improvement Using the CMMI. Auerbach Publications (2004)
63. Wilson J.P.: An Examination of the Economic Benefits of Iso 9000 and the Baldrige Award to Manufacturing Firms. PhD Thesis, University of Pittsburgh (2004)