

Diseño de una Arquitectura de Referencia para el Aprendizaje Electrónico basado en Modelo de Negocio y Calidad de Producto: un Caso de Estudio

Yuly Esteves¹, Francisca Losavio²
yulyesteves@gmail.com, francislosavio@gmail.com

¹ Departamento de Ciencias Naturales y Matemática, UPEL-IPMJMSM. Caracas, Venezuela

² Laboratorio MoST, Escuela de Computación, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela

Resumen: Una arquitectura de referencia para el dominio del aprendizaje electrónico o *e-learning* debe conciliar aspectos tecnológicos y pedagógicos relevantes, lo que implica la consideración de características del negocio educativo para garantizar la satisfacción de la calidad exigida por estos sistemas. En un trabajo previo de Esteves y Losavio (2016) se define el proceso de diseño arquitectónico MN-AR (*Modelo de Negocio y Arquitectura de Referencia*) basado en el modelado del negocio y dirigido por la calidad, especificada por el modelo de calidad estándar ISO/IEC 25010. MN-AR se inspira en el trabajo previo de Losavio, Ordaz y Esteller (2015) el cual sigue un enfoque de diseño ascendente extractivo, basado en la refactorización de arquitecturas de productos existentes en el mercado para un dominio. El objetivo de este trabajo es presentar un caso de estudio y aplicar MN-AR paso a paso para validarlo y también con el fin de que los elementos esenciales de la propuesta sean explícitamente explicados e ilustrados.

Palabras Clave: Aprendizaje Electrónico; Calidad del Software; Modelado del Negocio; Arquitectura de Referencia; IEEE-LTSA; ISO/IEC 25010.

Abstract: A reference architecture for the e-learning domain should combine relevant technological and pedagogical aspects; as a consequence, characteristics of the educational business must be considered to guarantee the satisfaction of the required quality of these systems. The previous work by Esteves and Losavio (2016) defined MN-AR (*Modelo de Negocio y Arquitectura de Referencia*), a quality-driven architectural design process based on business modeling, where software product quality is specified by the standard quality model ISO/IEC 25010. MN-AR is inspired in the previous work of Losavio, Ordaz and Esteller (2015) which follows a bottom-up extractive approach, based on the refactoring of architectures of existing market products in a particular domain. The goal of this work is to present a case study and apply MN-AR step by step to validate the process and also to explicitly illustrate and explain the main elements of the proposition.

Keywords: E-Learning; Software Quality; Business Modeling; Reference Architecture; IEEE-LTSA; ISO/IEC 25010.

I. INTRODUCCIÓN

La presente investigación considera una adaptación del proceso de diseño arquitectónico para líneas de productos de software ascendente o “bottom-up” extractivo, centrado en la refactorización de productos existentes, definido en [1], como paso natural para obtener una *arquitectura de referencia* (AR) que permita generar a partir de ella, aplicaciones o sistemas concretos de calidad para el dominio del aprendizaje electrónico. La AR es una arquitectura genérica e instanciable que se reutiliza como plantilla o marco de referencia arquitectural, para derivar una familia de productos o sistemas de software similares en un determinado dominio [2]; es el eje central de la plataforma de aprendizaje electrónico sobre el cual se articula el sistema completo; en nuestro contexto, la *plataforma* contiene la AR.

Un *dominio* se define como el conjunto mínimo de propiedades que definen una familia de problemas para los cuales se requieren soluciones computacionales [3]. En este trabajo, se analiza el conjunto de problemas, características y tendencias actuales referidas al uso de las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) para mediar el proceso de aprendizaje, es decir, se trabaja en el contexto del *aprendizaje electrónico*, o del inglés *e-learning*; ambos términos se utilizarán indistintamente en esta investigación.

Por otra parte, en un trabajo previo de las mismas autoras [4] se define la adaptación del proceso de diseño de la AR propuesto en [1]; este nuevo proceso se denomina *MN-AR* (*Modelo de Negocio y Arquitectura de Referencia*) y considera explícitamente el modelo del negocio como entrada a la etapa de Análisis del Dominio; a diferencia del

proceso planteado en [1], MN-AR toma como entrada AR existentes definidas para el e-learning [5][6][7][8] y no productos concretos del mercado, y se considera la refactorización de estas arquitecturas en lugar del estudio de las arquitecturas de sistemas concretos e-learning. La AR obtenida en MN-AR es luego adecuada al estándar IEEE-LTSA [8], como práctica usual realizada para “validar” AR para el dominio e-learning. MN-AR contempla la trazabilidad entre *requisitos funcionales (RF)* y *no funcionales (RNF)*, garantizando de esta manera la calidad global de la AR y facilitando el cumplimiento de una de sus características prioritarias de calidad, su evolución en el tiempo; sin embargo en [4] el proceso completo no es aplicado a un caso de estudio. El objetivo principal de este trabajo es complementar lo realizado en [4] con la definición de un breve caso de estudio y aplicar MN-AR paso a paso, con el fin de ofrecer una primera validación de este proceso, resaltando su carácter sistemático y repetible.

Este artículo se estructura, además de esta *Introducción* y las *Conclusiones*, en tres secciones: *Contexto*, donde se presentan trabajos previos y bases conceptuales que dan soporte al estudio; *Proceso MN-AR*, donde se especifican las etapas del proceso propuesto; y finalmente *Caso de Estudio*, donde se aplica paso a paso el proceso MN-AR.

II. CONTEXTO

A. Trabajos Relacionados

Los trabajos relacionados con el tema en estudio, van en las siguientes direcciones:

- Hay enfoques para el proceso de diseño arquitectural que consideran relacionar los RF con los requisitos de calidad u objetivos de calidad a los cuales estos deben responder, entre estos se encuentra [9], donde se realiza una extensión al proceso propuesto en [10] llamado PEC (Proceso Extendido de Chung), incluyendo estos aspectos en la etapa inicial del análisis del dominio, para la reutilización del conocimiento sobre la arquitectura y la identificación de restricciones o propiedades globales sobre las familias de sistemas del dominio. Este análisis incluye la especificación de las propiedades de calidad derivadas de RF y RNF, es decir arquitecturales y otras restricciones extraídas de las reglas de negocio, especificadas mediante el estándar ISO/IEC 25010 [11]; una adaptación de este proceso mediante una etapa inicial de modelado del negocio se trató en [12]. El resultado de este análisis es el punto de partida para la justificación de los requisitos globales de la aplicación o sistema a ser construido utilizando estándares [9][11][13].
- Plataformas e-learning: aquí se destacan los trabajos de [14][15][16], quienes analizan AR para el aprendizaje electrónico y resaltan la importancia de garantizar la interoperabilidad entre plataformas, entre otros aspectos de calidad.
- Por otra parte, el trabajo presentado en [5] se relaciona directamente con esta investigación; su objetivo es obtener una AR para las plataformas e-learning uniendo dos AR existentes WbIS [7] y UkeU [17]; esta AR

obtenida sin aplicar ningún proceso, es adecuada al IEEE-LTSA [8]; nuestro proceso MN-AR [4] es sistemático y repetible y también llega a especificar la AR, adecuándola al estándar IEEE-LTSA [8], lo cual es una práctica común en la mayoría de los trabajos que tratan del diseño de AR para este dominio. En [5] no se presenta ningún método específico de desarrollo, pero al igual que nosotros, se consideran aspectos de calidad y soluciones arquitecturales para satisfacerlas, pero no siguen ningún estándar ni técnicas para especificar dicha calidad.

- Otra referencia importante en esta investigación es el trabajo realizado en [1], donde se propone un proceso completo de diseño arquitectónico ascendente o “bottom-up” de refactorización de productos existentes en el mercado, para obtener una AR en el dominio de los Sistemas de Información Integrados de Salud, en un contexto de producción industrial de software. De este trabajo se tomó el sub-proceso para obtener automáticamente una Arquitectura Candidata (AC), la cual, utilizando el modelo de calidad estándar ISO/IEC 25010 junto con técnicas de orientación a metas para introducir también la variabilidad no funcional, permite obtener manualmente la AR a partir de la AC completada, agrupando en puntos de variación las variantes obtenidas que realizan tareas similares. El estudio en [4] incorpora a la propuesta de [1] el modelado del negocio como entrada a todo el proceso y el tratamiento de la calidad desde los procesos de negocio. Sin embargo, no se considera ahora el enfoque de metas, estableciéndose la trazabilidad de RF y RNF a través de relaciones entre componentes provee/proporciona o “provides/requires”, que determinan claramente que propiedad no funcional es requerida por cada funcionalidad.

B. Aprendizaje Electrónico

Las innovaciones desarrollada a finales del siglo XX y que han marcado el transcurso del siglo XXI, han redimensionado las estrategias de aprendizaje abierto y a distancia. Esta modalidad de estudio cada día tiene más aceptación “estimulado, en parte, por el creciente interés de educadores y tutores en las nuevas tecnologías vinculadas a internet y otras plataformas multimedia, y en parte debido al creciente consenso sobre la necesidad de apoyar las formas tradicionales de educación, valiéndose de medios más innovadores” [18].

En este sentido, cuando se habla de educación a distancia mediada por el computador, se hace referencia al aprendizaje electrónico, el cual permite crear ambientes de aprendizaje interactivos, eficientes, accesibles y distribuidos que, puede ser clasificado según los medios tecnológicos de los que hacen uso:

- El CBT (*Computer Based Training*) o CAI (*Computer Assisted Instruction*), aprendizaje basado en computador o instrucción asistida por computador, fue implantado en múltiples instituciones educativas y organizaciones.

Estaba basado en la lectura e incorporaba mecanismos de realimentación pregunta-respuesta, convirtiendo al alumno en un ente más activo dentro de su propio proceso formativo.

- El IBT (*Internet Based Training*) fue el siguiente paso evolutivo de los sistemas de aprendizaje basados en computador, CBT. Con la llegada de Internet los contenidos podían llegar a sus destinatarios a través de Internet o de intranet.
- El WBT (*Web Based Training*) consiste en el aprendizaje haciendo uso de la web, a través de la que se reciben los contenidos. En este último tipo se encuentra el Campus Virtual [19].

Así pues, puede decirse que el e-learning es una forma de utilizar la tecnología para mediar el proceso de enseñanza y de aprendizaje, utilizando modalidades abiertas y a distancia, capaz de llegar a un gran número de personas en el mundo, sin perder la capacidad de interacción entre profesores y estudiantes.

C. Características de Calidad

Algunos resultados obtenidos en [5], respecto a los sistemas de software educativos en general, sirven como base para analizar las características de calidad prioritarias, de acuerdo con el tipo de sistema educativo, entre los cuales están presentes los sistemas *e-learning*, junto con las soluciones arquitecturales requeridas por estos sistemas y dirigirán nuestro proceso de diseño de la AR el cual será presentada en detalle en la Sección III. Esta información, junto con las características de calidad que puedan derivarse de los objetivos y reglas del negocio especificadas en el modelo del negocio, permiten precisar un modelo de calidad para el dominio de los sistemas *e-learning* y expresarlo mediante una adaptación o instanciación del modelo de calidad estándar ISO/IEC 25010 [11], descrito en la Figura 1.

- Un *modelo de calidad del producto* según [11], está compuesto por ocho características de alto nivel de abstracción, que se subdividen en sub-características. Se refieren a propiedades *inherentes estáticas* (como usabilidad, disponibilidad, etc.) y a las inherentes dinámicas (como eficiencia, fiabilidad, etc.) del sistema informático. También se habla de propiedades *asignadas*, que no son de calidad, como costo, tiempo de mercadeo, etc., pero influyen en las decisiones durante la construcción del software. El modelo es aplicable a los productos de software y en general a los sistemas informáticos, generalmente complejos, que también involucran componentes de software [11].
- Un *modelo de calidad en uso* que se relaciona con el resultado de la interacción con los usuarios finales, cuando un sistema de software se emplea en un contexto particular de uso. Este modelo no será utilizado en este trabajo que se centra en las etapas de análisis y diseño de una AR y no de un sistema concreto ya desarrollado.

Las características de calidad definidas son relevantes para todos los productos de software y sistemas informáticos. El modelo de calidad del producto, adaptado al dominio *e-*

learning (ver Figura 1), es utilizado en MN-AR para dirigir el proceso de diseño completo de la AR.

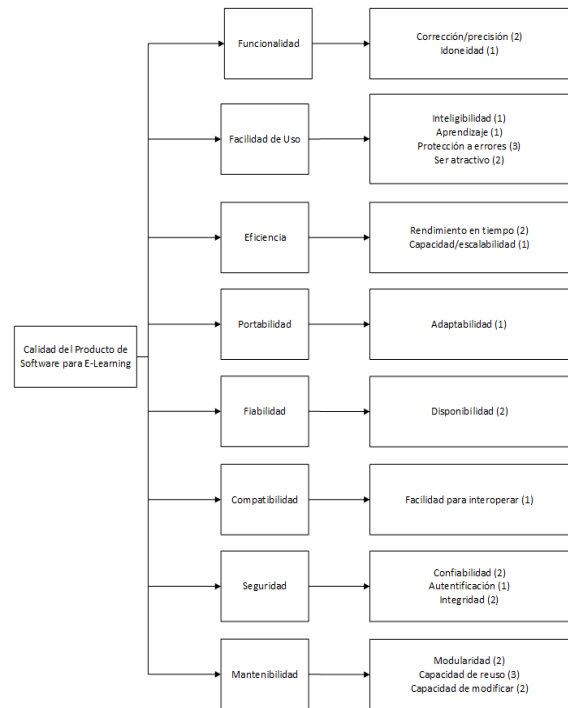


Figura 1: EL-DQM: Modelo de Calidad ISO/IEC 20510 [11] Adaptado al Dominio E-learning [5], con Prioridades ($1 \leq p \leq 3$, 1 Máxima Prioridad)

D. Modelado del Negocio para E-Learning

Para el modelado del negocio, en este estudio se asumirán las fases propuestas por [20] adaptándolas al dominio educativo (ver Figura 2), pues se considera que la incorporación de conceptos y estrategias de la “empresa” contribuiría con el desarrollo de software bajo el precepto de optimización de recursos y maximización de ganancias, entendida esta última como la satisfacción de un mayor número de usuarios a través de herramientas funcionales, fáciles de mantener, flexibles y fáciles de usar.

Para esto, se especificarán los elementos que deben considerarse en las Fases 1 y 2 del ciclo de vida de los procesos del negocio [20], así como la terminología propia al dominio, tomando como referencia el trabajo realizado por [21], quienes proponen un marco de referencia para el modelado del negocio en la industria del software. Las demás fases, por su nivel de abstracción, se basan en las fases 1 y 2.

- Fase de Descubrimiento. En esta fase se estudian los procesos del negocio en el caso del e-learning, como por ejemplo: Realizar Consulta, Añadir Conocimiento, Validar Respuestas [12], para lo cual, se deben tomar como referencia las características para las plataformas electrónicas propuestas en la literatura, de esta manera se estaría contribuyendo, en un futuro, a la determinación de

estándares. Los procesos deben ser especificados utilizando BPMN [22], que es la notación gráfica propuesta en BPMI para describir la lógica de los pasos, funciones y actividades de un proceso de negocio.

- **Fase de Análisis.** En esta fase deben analizarse los procesos que emergen de la fase anterior, para modelarlos con las características particulares del dominio. Es aquí, precisamente, donde se tiene la oportunidad de incorporar los elementos curriculares y de administración educativa, en general, que caracterice a la instancia para la cual se desarrolla. Hablar de “Educación” conlleva la consideración de políticas, teorías y concepciones que varían de un país a otro, es más, de una institución educativa a otra, por lo que esta fase brinda la oportunidad de considerar aquellas características particulares que son relevantes en el proceso [4].

Una vez realizadas las consideraciones presentadas en los párrafos precedentes, el ciclo de vida de los procesos del negocio, propuestos en [20], puede expresarse como se muestra en la Figura 2.

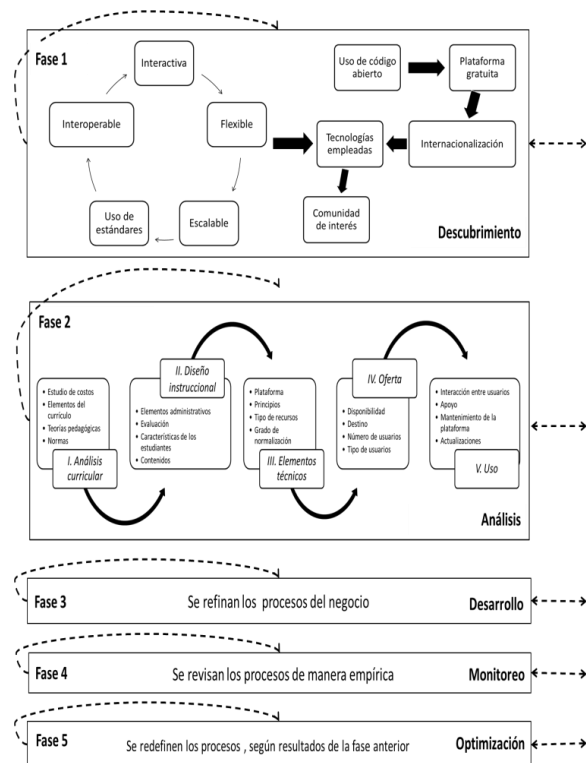


Figura 2: Adaptación de las Fases para el Establecimiento del Modelo del Negocio [4][20]

E. Arquitectura de Referencia para E-Learning

Una AR describe la esencia de la arquitectura de software de una familia de sistemas similares con sus aspectos más significativos y relevantes. El propósito de una arquitectura de referencia es proporcionar una guía para el desarrollo de

sistemas concretos reutilizando la AR como un esquema instanciable.

Los sistemas de e-learning deben estar soportados por una arquitectura que cumpla con las siguientes características (sintetizadas en [23]):

- **Abierta.** Debe soportar la interoperabilidad entre distintos proveedores de soluciones y basada en los estándares de organizaciones como AICC, IMS, ADL e IEEE.
- **Escalable.** Sus funciones y uso de recursos deben poder ser ampliadas cuando sea necesario.
- **Global.** Debe poder ser utilizada en cualquier lugar del mundo y en cualquier momento con igual facilidad.
- **Integrada.** Debe integrarse con distintas infraestructuras de red y otras aplicaciones de seguridad, recursos humanos, etc.
- **Flexible o Evolutiva.** Debe poder adaptarse a nuevos requisitos y procesos, nuevas tecnologías y nuevos proveedores de soluciones.
- **Adaptable.** En un mundo en constante desarrollo, debe ser de rápida y fácil implantación en diferentes plataformas de hardware/software, organismos, empresas y entidades educativas.

Hay autores que consideran otros elementos para el diseño de arquitecturas de e-learning. En [24] se plantea la necesidad de la flexibilidad y adaptabilidad de estos sistemas a los cambios del entorno, de las tecnologías y de los contenidos. En este sentido, las últimas propuestas arquitecturales apuntan al diseño de aplicaciones basadas en servicios. Un *servicio* es un tipo de componente de software reutilizable que proporciona a otros componentes o aplicaciones, un conjunto de funciones u operaciones que se invocan a través de una interfaz de programación. La Arquitectura Orientada a Servicios (*Service Oriented Architecture – SOA*), facilita el desarrollo de nuevas aplicaciones reutilizables que resuelven problemas de integración, a través de aplicaciones independientes y distribuidas de manera que desde la red pueda accederse a sus funcionalidades, las cuales se ofrecen como servicios.

III. PROCESO MN-AR

El proceso MN-AR propuesto en [4] es un proceso de diseño arquitectónico que permitirá obtener una AR para aplicaciones en el dominio del aprendizaje electrónico que satisfagan las características de calidad deseables en el dominio. En consecuencia, la principal adaptación de [1], además de considerar el modelo de negocio (MN) como paso inicial, viene dada por el hecho de que los productos existentes del dominio e-learning que se estudiaron son ya AR y no sistemas concretos. A continuación se especifica textualmente el proceso MN-AR:

A. Modelado del Negocio (ModN)

Se utiliza BPMI, de acuerdo a las recomendaciones de la Sección II-D, para establecer el MN educativo.

Entrada: la descripción textual del dominio.

Actividades:

- Se realizan las fases de Descubrimiento y Análisis, para obtener el MN
- Se determina (n) el (los) estilo (s) arquitectural (es) predominante (s) del dominio respecto a los sistemas computacionales existentes en la organización.
- Se construye el Modelo de Calidad del Dominio, respecto a los sistemas computacionales existentes en la organización y sensibles de la automatización de los procesos especificados; en nuestro caso EL-DQM (del inglés *E-Learning Domain Quality Model*), ver Figura 1.

Salida: reglas del negocio, MN en BPMN, representado como procesos del negocio, estilo arquitectural, EL-DQM.

B. Análisis del Dominio (AD)

Entrada: MN, estilo arquitectural, EL-DQM,

Actividades:

- Convertir los procesos de negocios a procesos automatizables, en términos de los principales componentes, correspondientes a RF de sistemas de software y sus propiedades de calidad o RNF prioritarias del dominio, dadas por el EL-DQM
- Identificar características de sistemas existentes, funcionalidades básicas del dominio (RF)
- Describir las arquitecturas de productos existentes: en nuestro caso los productos ya son AR, dadas por descripciones arquitecturales, generalmente informales y descritas en notaciones no estándar, proveniente de la práctica industrial y/o académica
- Análisis de Similitud de componentes: se realiza un análisis de similitud semántica entre los componentes de las AR; se identifican los componentes provenientes de RF y RNF con sus conexiones para cada AR.

Salida: Tabla de Similitud de componentes con conectores para cada AR.

C. Especificación de las AR en un Lenguaje de Descripción Arquitectónica (del inglés ADL: *Architecture Description Language*), en nuestro caso UML 2.0.

Salida: Representación UML de las AR.

D. Construcción automática de la Arquitectura Candidata (AC) inicial

Entrada: diagramas UML de las AR consideradas, Tabla de Similitud

- Se realiza la unión de los componentes sobre los diagramas UML, y se genera automáticamente la representación arquitectónica en UML, preservando las conexiones

Salida: AC representada como un diagrama UML

E. Construcción del Modelo de Calidad Extendido o "Extended Quality Model" (EQM), Tabla EQM.

Entrada: AC

- Se estudian los componentes arquitecturales de AC, analizando sus posibles metas no funcionales requeridas (propiedades o requisitos de calidad a las cuales los componentes deben responder), que podrían no estar presentes en el EL-DQM, si son derivadas de componentes funcionales
- Se asignan soluciones arquitecturales o mecanismos computacionales, que pueden ser requeridos por cada componente funcional para satisfacer la propiedad de calidad, provenientes de la tecnología o de catálogos y se asignan prioridades de acuerdo a su importancia respecto al dominio.
- Se determinan posibles condiciones de obligatoriedad u opcionalidad de las componentes.

Salida: EQM representado como una tabla

F. Completar AC

- A partir de la tabla EQM, se estudian las propiedades requeridas por las funcionalidades o componentes de AC y se seleccionan las soluciones arquitecturales que las pueden satisfacer, considerando todas las alternativas posibles
- Nuevos componentes pueden ser introducidos para realizar o agrupar varias soluciones arquitecturales, las cuales se denominarán variantes o <<variantes>>

Salida: AC completada

G. Diseño del Dominio (DD)

Entrada: AC completada

- *Construcción del Modelo de Variabilidad.* Se agrupan componentes que realizan tareas similares en componentes genéricos denominados *puntos de variación* o <<variation points>>; son los que serán instanciados en el momento de derivar un producto o sistema concreto a partir de la AR
- *Construcción de la AR*
- *Adecuación de la AR.* Se adecúa la AR a un estándar, si lo hay; en nuestro caso es la IEEE-LTSA [8].

Salida: AR representada por un diagrama UML

En resumen, el proceso MN-AR extiende la propuesta realizada en [1], incorporando el modelo del negocio, descrito en la Sección II.D, pues se considera que es allí donde se presentan las características relevantes del dominio; se utiliza la refactorización de AR existentes y no se utiliza el enfoque de metas como en [1][10][13], sino un enfoque basado en escenarios, representados por la Tabla EQM (del inglés *Extended Quality Model*) [4], donde se satisfacen las propiedades de calidad, exigidas por los componentes funcionales, por otros componentes que representan o agrupan mecanismos del mercado o soluciones arquitecturales.

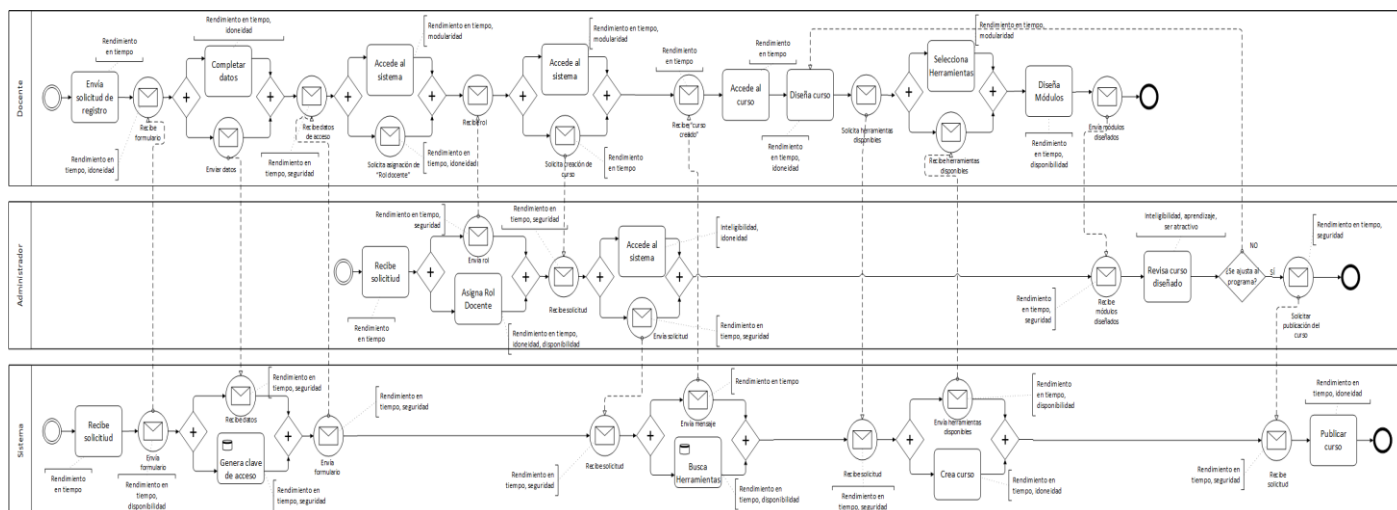


Figura 3: Modelo de Negocio Extendido: BPMN 2.0 con Características de Calidad. Proceso Crear Contenido (Autoras)

IV. CASO DE ESTUDIO

A continuación se iniciará la aplicación de MN-AR completo a un caso de estudio, con el fin de ofrecer una primera validación del proceso. Como parte esencial del modelo de negocio se dará la descripción de los flujos de dos procesos considerados relevantes para la concretización del e-learning: *Realizar Consulta* y *Crear Contenido*.

A. Modelado del Negocio (ModN)

Entrada: en el proceso *Crear Contenido* interviene el docente o grupo de docentes involucrados en el curso, el administrador del sistema y el sistema de software; mientras que en el proceso *Realizar Consulta* solo interactúa el estudiante con el sistema. Estos procesos no son necesariamente consecutivos, entre ellos existen otros procesos que no se discutirán en este artículo para simplificar su presentación.

Fase de Descubrimiento

- Proceso: *Crear Contenido*. Los actores a considerar son el sistema, el administrador y el docente.

El proceso inicia cuando el docente *accede al sistema* para diseñar un nuevo curso virtual => el docente *se registra* como usuario => el administrador del sistema le *asigna el rol* de docente. Paralelamente, se *crea el curso* en el sistema => el docente *recibe estructura de módulos*; *diseña los módulos* del curso y las *estrategias de comunicación* a utilizar => el docente *sube recursos* al sistema: documentos, enlaces y demás recursos para el curso => el docente establece el *calendario de actividades*.

Estas actividades se integran a nivel de sistemas de software en los subsistemas o componentes de *Infraestructura-Servicios Comunes* y *Servicios para el aprendizaje* de la AR, según se plantea en [5][8] y veremos en la sección B. *Análisis del Dominio*. Debido a que BPMN 2.0 no posee una notación para expresar RNF, cada actividad

en la Figuras 3 y 4 están relacionadas mediante un comentario, presentado en corchetes, con las propiedades de calidad del modelo EL-DQM de la Figura 1, que deben ser cumplidas por la respectiva actividad para tener la idoneidad funcional del componente, es decir que cada tarea se cumpla a cabalidad de acuerdo a lo especificado. Ellas son descritas en la fase de análisis.

- Proceso: *Realizar Consulta*. Los actores a considerar son el sistema y los estudiantes.

El proceso inicia cuando los estudiantes solicitan *acceder al sistema* para consultar un tema en específico => el sistema *recibe la solicitud* y *analiza* la lista de temas => el sistema *muestra los contenidos* disponibles => el estudiante *selecciona el contenido* con el que va a trabajar => el sistema *muestra el contenido* y las *preguntas* relacionadas => el estudiante *responde la pregunta* => el sistema *indica si es o no correcta* y presenta la opción de responder otra pregunta => finaliza el proceso cuando el estudiante *recibe la estadística de respuestas acertadas*.

Al igual que en el proceso *Crear Contenido*, estas actividades se integran en los subsistemas o componentes de *Infraestructura-Servicios Comunes* y *Servicios para el aprendizaje* [5] y [8]; igualmente se especifican en BPMN las propiedades de calidad referentes a estas actividades que deben ser cumplidas. Pueden verse en la Figura 1.

Fase de Análisis

- Proceso: *Crear Contenido*.

RF: *Registrar Usuario, Asignar Rol, Recibir estructura de módulos, Diseñar Módulos, Subir Recursos, Establecer Calendario de Actividades, Publicar Curso* (Creación y Diseño de Curso)

RNF o metas de calidad asociadas a las actividades del proceso: *rendimiento en tiempo, idoneidad, inteligibilidad, aprendizaje, ser atractivo, seguridad de*

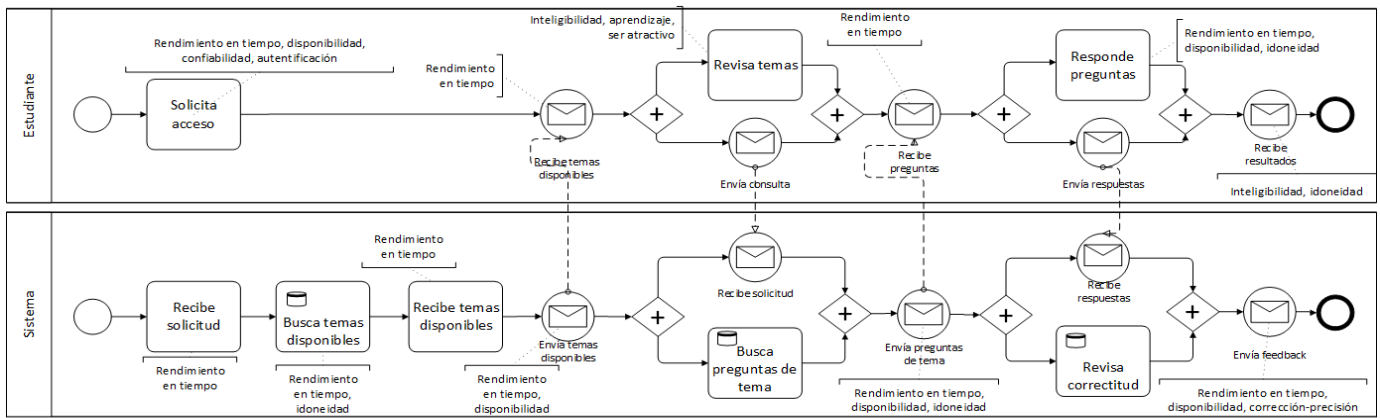


Figura 4: Modelo de Negocio Extendido: BPMN 2.0 con Características de Calidad. Proceso Realizar Consulta (Autoras)

acceso, disponibilidad del sistema y modularidad (ver Figura 1). En la Tabla II. EQM, se justifica el cumplimiento de estas propiedades relativas a los componentes de *Infraestructura* y *Servicios para el Aprendizaje*.

Reglas del negocio que pueden afectar el proceso: proporcionar contenido adecuado según programa analítico del curso. Será verificado por el Administrador en la actividad *Revise Curso Diseñado*.

• Proceso: *Realizar Consulta*

RF: *acceder al sistema, recibir solicitud, analizar lista de temas, mostrar contenidos, mostrar preguntas, responder preguntas, indicar corrección de respuesta, recibir estadísticas de respuestas.*

RNF o metas de calidad asociadas a las actividades del proceso: *disponibilidad del sistemas, seguridad de acceso (confiabilidad, autenticación), rendimiento en tiempo, corrección-precisión* respecto a las respuestas, *idoneidad* o completitud de las tareas realizadas, *inteligibilidad, aprendizaje, ser atractivo* para el estudiante. También se justifican en la Tabla II. EQM.

Reglas de negocio que pueden afectar al proceso: Proporcionar acceso adecuado al contenido. El sistema debe garantizar seguridad y tiempo en las actividades *enviar solicitud de acceso y recibir petición de curso*.

Al culminar con la fase de análisis, se refinan los procesos del negocio (Fase 3), para luego revisarlos (Fase 4), y eventualmente optimizarlos (Fase 5), hasta obtener todos los procesos del negocio definitivos (ver Figuras 3 y 4). En este trabajo se muestran esencialmente las fases de Descubrimiento y Análisis.

Estilos arquitecturales del Dominio

Los estilos arquitecturales predominantes del dominio del aprendizaje electrónico son los estilos híbridos SOA/Capas, bajo plataforma tipo LAMP [4][5] (Figura 5). Nótese que las propiedades de calidad *escalabilidad, adaptabilidad e interoperabilidad* (ver Tabla II. EQM) se satisfacen debido al uso de estilos arquitecturales basados en servicios; estas propiedades no se reflejan de los componentes funcionales, sino que son satisfecho por el estilo arquitectural utilizado.

Modelo de Calidad del Dominio

El modelo de calidad del producto de software, en el caso del e-learning (EL-DQM) presentado en la Figura 1, es extraído de las características del dominio y adaptadas de acuerdo al estándar ISO/IEC 25010 [4][5][12].

Salida: reglas del negocio, MN en BPMN, representado como procesos del negocio (Figuras 3 y 4), estilo arquitectural (Figura 5) y EL-DQM (ver Figura 1).

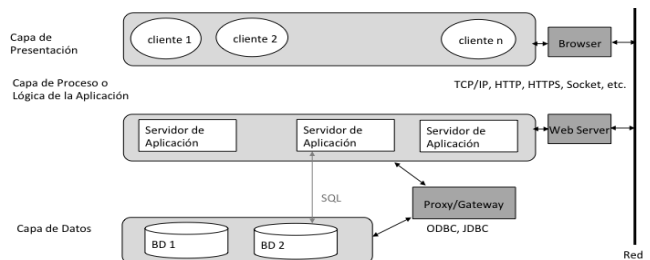


Figura 5: Arquitectura Híbrida basada en Eventos, SOA/Capas que se Adapta al Dominio E-learning [4]

B. Análisis del Dominio (AD)

Convertir los Procesos de Negocio

Las funcionalidades básicas del dominio e-learning en la fase de análisis de MN, según la IEEE-LTSA [8], deben ser identificadas a partir de los procesos de negocio (Figuras 3 y 4); para este trabajo, se identificaron los siguientes requisitos funcionales, comunes para ambos procesos, que dan origen a las funcionalidades básicas:

- Crear, operar y administrar actividades de aprendizaje en línea => sistemas para gestión y creación de contenidos LMS, LCMS (Componentes de Servicios de Aprendizaje)
- Soportar la colaboración entre los usuarios => sistemas colaborativos COLLS (Componentes de Servicios de Aprendizaje)
- Crear y proporcionar preguntas y pruebas para la evaluación del aprendizaje del estudiante => sistemas de evaluación ASSES (Componentes de Servicios de Aprendizaje)

- Organizar recursos humanos y financieros => sistemas de recursos humanos HRS (Componentes de Servicios Comunes)
- Administrar experiencias de aprendizaje virtual y distribuido vía Internet a estudiantes geográficamente distantes => sistemas de mails, gestión de usuarios y portales MAILs, UMS y Portal (Componentes de Servicios Comunes e Infraestructura)

Por lo tanto estos componentes funcionales formarán parte de nuestra arquitectura AC inicial, AC completada y finalmente de la AR para e-learning como se verá en los pasos siguientes del proceso MN-AR.

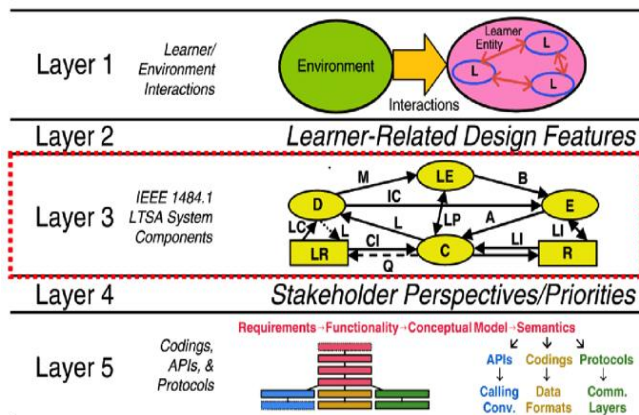


Figura 6: LTSA: IEEE P1484-1 Standard [8]

Identificar características de sistemas existentes

Una AR para e-learning debería adaptarse al estándar IEEE-LTSA [8], el cual describe una arquitectura en cinco capas de alto nivel para sistemas de aprendizaje basados en tecnología de información. Describe una solución en términos de una perspectiva de información tecnológica y es por lo tanto independiente respecto a aspectos pedagógicos, de contenido, culturales y de plataforma [8] (ver Figura 6).

La capa 3 de esta arquitectura es obligatoria para este estándar y debe estar presente en cualquier AR que se diseñe; identifica los componentes de la arquitectura (funcionalidades principales que deben estar presentes) en cuatro procesos:

D: Delivery (Entrega), LE: Learning Entity (Entidad de Aprendizaje), E: Evaluation (Evaluación) y C: Coach (Monitoreo); y dos almacenamientos de aprendizaje: Recursos y Registros.

Las relaciones son M: Multimedia, B; Behavior (Comportamiento): IC: Interaction Context (Contexto de Interacción), LP: Learning Parameters (Parámetros de Aprendizaje), L: Locator (Localizador), A: Assessment (Evaluación), LC: Learning Content (Contenidos), CI: Catalog Info (Información del Catálogo), Q: Query.

Describir las arquitecturas de productos existentes

En [4] se consideró la proposición de [5], cuya AR integra los frameworks UKeU [17] y WbIS [7] y que además se

adecúa a la IEEE-LTSA (Figura 6) [8]; se consideran tres subsistemas o componentes principales:

- *Infraestructura & Servicios Comunes o Infrastructure & Common Services:* Portal (UI), Servicios Comunes (UMS: User Management System, MAILs: Mail, HRS: Human Resources), Base de Datos (DBMS: Data Base Management Systems).
- *Servicios para el aprendizaje o e-learning services:* LMS, LCMS, sistema de evaluación (ASSES: Assessment System), sistema colaborativo (COLLS: Collaborative System), sistema de planificación (no fue considerado en esta AC como sistema aislado, es incluido con frecuencia en los sistemas ASSES).
- *Recursos para el aprendizaje o e-learning resources:* material en línea, material impreso, CD, DVD; estos aspectos se manejan en los sistemas LMS y LCMS.
- *Recursos Humanos o Human Resources:* Usuarios (estudiante, instructor o docente, administrador de la comunicación en línea, administrador del entrenamiento, autor, administrador del sistema), empresa u organización cliente, equipo de desarrollo, equipo de mantenimiento y soporte. Estos aspectos se consideran en los sistemas UMS y HRS.

Tabla I: Componentes de la AR Obtenida Aplicando MN-AR, con sus Conectores

Componentes	Conectores
P1. Portal	P1RC1, P1RC2
L1. Learning Services	L1RL2, L1RC11, L1RC12
L11. LMS	L11RL1, L11RL12, L11RL13, L11RL14, L11RL1
L12. LCMS	L12RL11, L12RL1
L13. COLLS	L13RL11, L13RL1
L14. ASSES	L14RL11, L14RL1
L2. Common Services	L2RL1, L2RC11, L2RC12
L21. HRS	L21RL22, L21RL2, L21RL2
L22. UMS	L22RL21, L22RL2, L22RL2
L23. MAILs	L23RL2
D1. DBMS	D1RL1, D1RL2
C1. Networks	C1RP1, C1RC11, C1RC12
C11. Internet	C11RP1, C11RL1, C11RL2
C12. Satellite	C12RP1, C12RL1, C12RL2

Estos componentes (ver Tabla I), de alto nivel, deben ser articulados de acuerdo al estilo arquitectónico considerado para el dominio e-learning en la etapa del Modelado del Negocio, es decir un estilo híbrido SOA/capas típico para sistemas o aplicaciones Web, siguiendo una plataforma tipo LAMP (ver Figura 5). Nótese que las arquitecturas son grafos conexos, es decir sin componentes aislados.

- *Análisis de Similitud de Componentes.* Este paso no es necesario ya que la AR considerada toma en cuenta ya dos AR y es conforme a la IEEE-LTSA.

C. Especificación de las AR en UML

Salida: Ver Figura 7 donde se muestra una arquitectura en tres capas, más la capa de comunicación o transmisión, constituida por las redes (Internet/intranet, satelital, etc.), que entrecruza a las tres capas. Nótese que los nombres de los

Tabla II: Tabla EQM (Extended Quality Model) – Adaptado de [4] al Caso de Estudio

<i>Componentes</i>	<i>Variantes</i>	<i>Descripción</i>	<i>Propiedad de Calidad con prioridad en () Requiere</i>	<i>Proporciona</i>	<i>Restricciones</i>
P1. Portal	No	Es la componente Interfaz Usuario (UI) a través de la cual se tiene acceso al sistema	- inteligibilidad (1), - aprendizaje (1), - ser atractiva (2), - protección de errores (3) - confiabilidad (2), - autenticación (1) - integridad (2) Servicio Web	P1: técnicas de diseño de páginas, no se evalúan a nivel arquitectural P11: mecanismo corrector C1: SOAP/HTTP/ LDAP/HTTPS/Web service	CC: Componente Común funcional, obligatoria
P11. AutoCorrector	Si (*)	Provee autocorrección al introducir texto		Mecanismo	Opcional
L1. Learning Services	No	Agrupar sistemas que ofrecen servicios para el proceso de aprendizaje	Por cada sistema componente:	Proporcionadas para cada sistema componente:	CC funcionales opcionales u obligatorios
L11. LMS	Si (*)	Sistemas de gestión de aprendizaje: permite administrar usuarios, recursos, contenidos (importar/exportar) y actividades de formación, administrar acceso, controlar el proceso de aprendizaje, generar informes, administrar servicios de comunicación; no incluyen autoría;	- idoneidad (1), - corrección-precisión (2), - rendimiento en tiempo (2), - capacidad-escalabilidad (1) - adaptabilidad (1) - disponibilidad-persistencia (2) - interoperabilidad (1)	L1: por construcción L1: Computation modules C1: HTTP/SOAP/FTP Messaging/SOAP/RPC/ Web service API ODBC/JDBC L1: LMS copy	CC funcional, obligatorio variantes: SumTotal, Saba, OLAT, Sakai CLE, ATutor por ser sistema crítico
L12. LCMS	Si (*)	Sistemas de autoría: creación de contenidos; permite a los autores registrar, ensamblar, administrar y publicar/exportar contenidos para ser entregados vía Web; Variantes: Evolution, ForceTen	- idoneidad (1), - corrección-precisión (2), - comportamiento en tiempo (2) - capacidad-escalabilidad (1) - adaptabilidad (1) - disponibilidad-persistencia (2) - interoperabilidad (1)	L1: AICC/SCROM L1: por construcción L1: Computation modules C1: HTTP/SOAP /Messaging/SOAP/RPC API ODBC/JDBC L1: LCMS copy	CC funcional, obligatorio variantes: Evolution, ForceTen, Eduslide por ser sistema crítico
L13. COLLS	Si (*)	Sistema colaborativo: proporciona funcionalidades para crear y administrar sesiones colaborativas incluyendo comunicación síncrona (video-conferencias, salón virtual) y asíncrona (blog, wiki, grupos, chats)	- comportamiento en tiempo (2), - disponibilidad-persistencia (2), - adaptabilidad (1), - capacidad-escalabilidad (1) - autenticación (1), - confidencialidad (2) - integridad (2)	L1: AICC/SCROM L1: por construcción L1: por construcción C1: protocolos HTTP/SOAP T.120/H.323 LDAP/HTTPS/Web service	CC funcional, variantes: Alfresco, Asana, Box.net, Clearspace, Drupal, Google Drive, Huddle
L14. ASSES	Si (*)	Sistema de evaluación: permite a los autores crear “surveys”, evaluación formativa y sumativa, exportar una evaluación vía AICC o SCORM, para ser entregada vía Web	- idoneidad (1), - corrección-precisión (2), - comportamiento en tiempo (2) - capacidad-escalabilidad (1) - adaptabilidad (1) - disponibilidad-persistencia (2) - autenticación (1), - confidencialidad (2) - integridad (2)	L1: por construcción L1: Computation modules C1: HTTP/SOAP/ Messaging/RPC API ODBC/JDBC LDAP/HTTPS/Web service	CC funcional, obligatorio variantes: sistemas LMS (son los mismos LMS)
L15. Computation modules	Si (*)	Garantiza la precisión en los sistemas que requieren cómputos	Componente	Módulos	variantes: pueden haber muchos algoritmos Obligatorios Opcional
L16. LMS copy	Si	Garantiza la disponibilidad en caso de falla	Subsistema	Componentes	Opcional
L17. LCMS copy	Si	Garantiza la disponibilidad en caso de falla	Subsistema	Componentes	Opcional
L18. AICC	Si	Garantiza importación/exportación	Componente	API	Obligatorio
L19. SCROM	Si	Garantiza importación/exportación	Componente	API	Obligatorio
L2. Common Services	No	Agrupar sistemas que ofrecen servicios a los que todos pueden acceder	Por cada sistema componente:	Proporcionadas para cada sistema componente:	CC funcionales, obligatorios
L21. HRS	Si (*)	Sistemas de recursos humanos:	- disponibilidad-	C1: Messaging/SOAP/FTP/	CC funcional,

Tabla II: Tabla EQM (Extended Quality Model) – Adaptado de [4] al Caso de Estudio

Componentes	Variantes	Descripción	Propiedad de Calidad con prioridad en () Requiere	Proporciona	Restricciones
		permite administrar el perfil del usuario final incluyendo habilidades, competencias y tipo de trabajo; crear y mantener los registros de planes personales de desarrollo del usuario	persistencia (2), - capacidad- escalabilidad (1) - adaptabilidad (1),	API ODBC/JDBC LDAP/HTTPS, Web Service	obligatorio variantes: Orange HRM, Centrifugo, SimpleHRM
L22. UMS	Si (*)	Sistemas de gestión de usuarios; administra usuarios, grupos y roles a partir de todos los componentes Involucrados en la solución; maneja el registro y cuenta del usuario, la autorización y la autenticación	- autenticación (1), - confidencialidad (2) - disponibilidad- persistencia (2), - capacidad- escalabilidad (1) - adaptabilidad (1),	C1: Messaging/ SOAP/FTP API ODBC / JDBC LDAP/HTTPS, Web Service	CC funcional, obligatorio variantes: Apache Syncope, OpenIAM
L23. MAILS	Si (*)	Sistema e-mail: es responsable de enviar, recuperar y reenviar e-mails a los diferentes componentes involucrados en la solución.	- comportamiento en tiempo (2), - disponibilidad- persistencia (2), - adaptabilidad (1) - capacidad- escalabilidad (1) - autenticación (1), - confidencialidad (2)	C1: SOAP/ HTTP/Messaging, /FTP/ T.120,/H.323 API ODBC/JDBC LDAP, HTTPS, Web service	CC funcional, obligatorio variantes: gmail, hotmail, yahoo, cantv.net,
C1. Networks	No	Agrupar los tipos de redes	Requeridas por cada componente:	Proporcionadas para cada componente:	CC funcionales, obligatorios
C11. Internet	Si	conjunto descentralizado de redes de comunicación interconectadas, basadas en protocolos TCP/IP, que hace ver las redes físicas heterogéneas que la componen como una red lógica única de alcance mundial.	- comportamiento en tiempo (2), - disponibilidad- persistencia (2), - adaptabilidad (1), - capacidad- escalabilidad (1) - autenticación (1), - confidencialidad (2) - integridad (2)	C4. Network protocols: SOAP/HTTP/FTP/T.120/H.323 /Messaging (Publisher-Subscriber) LDAP/HTTPS/Web Services	CC, obligatorio variante: Internet
C12. Satellite	Si	es un método de conexión a redes de comunicación (ej. Internet) utilizando como medio de enlace un satélite.	- comportamiento en tiempo (2), - disponibilidad- persistencia (2), - adaptabilidad (1), - capacidad- escalabilidad (1) - autenticación (1), - confidencialidad (2) - integridad (2)	C4. Network protocols: SOAP/HTTP/FTP/T.120/H.323 /Messaging (Publisher-Subscriber) C2. ODBC C3. JDBC C5. Security protocols: LDAP/HTTPS/Web Services	CC funcional, opcional Messaging is implementado por un canal Publisher-Subscriber variante: Satellite
C2. ODBC	Si	Garantiza portabilidad	API	Mecanismo	obligatoria
C3. JDBC	Si	Garantiza portabilidad	API	Mecanismo	obligatoria
C4. Network protocols	Si (*)	Garantizan propiedades de la comunicación	Protocolos	Mecanismos, servicios Web	obligatorias variante: múltiples dependen del mercado
C5. Security protocols	Si (*)	Garantizan las propiedades para el control de acceso al sistema y la consistencia de mensajes	Protocolos	Mecanismos, servicios Web, sistemas	obligatorias variante: múltiples dependen del mercado
D1. DBMS	Si (*)	Sistemas Gestores de Bases de Datos; las diferentes bases de datos utilizadas por los subsistemas son consideradas un almacenamiento persistente compartido de datos: D11. LMSDB, D12. LCMSDB, D13. CALLSDB, D14. ASSESDB, D15. HRSDB, D16. UMSDB	- capacidad- escalabilidad (1) - disponibilidad- persistencia (2) - interoperabilidad(1) - integridad (2) - adaptabilidad (1)	D1. módulos, mecanismos propios de las BD C1: API ODBC/JDBC	CC funcional, obligatorios; cada base de datos es obligatoria. Solo BD relacionales son consideradas; variantes: Oracle, MySQL, PostgreSQL, Firebird
D17. DB mechanisms	Si (*)	Garantizan propiedades de los BDMS	DBMS	Componentes	variantes: específicas para cada DBMS

(*) indica varios sistemas diferentes; cada uno es una variante

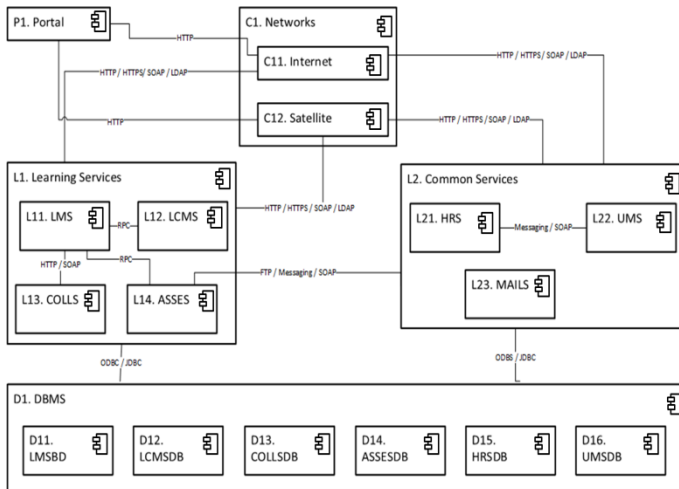


Figura 7: Arquitectura Candidata (AC) en UML Generada Automáticamente a Partir de la Especificación de las AR Existentes (Autores)

componentes son numerados secuencialmente de acuerdo a la capa en donde están situados, P: Presentación, L: Lógica o Proceso, C: Comunicación, y D: Datos y se han mantenido los nombres en inglés para efectos de divulgación internacional.

D. Construcción automática de la AC inicial.

Nuestra AC es la que se muestra la Figura 7. Solo las funcionalidades están presentes en esta AC inicial, pues en la AR que se tomó de [7] no se incluían componentes no funcionales, derivados de las propiedades de calidad; estas son especificadas en la Tabla EQM a continuación.

E. Construcción de la Tabla EQM

En la Tabla II se analizan los componentes de la AC, sus variantes, descripción, las propiedades de calidad requeridas y proporcionadas, indicando prioridad y restricciones asociadas.

F. Completar AC

A partir de la Tabla EQM (Tabla II) se completa la AC inicial obtenida en D, la cual se muestra en la Figura 8; las variantes son denotadas por el estereotipo <<variant>>. Los componentes se han introducido para satisfacer propiedades de calidad requerida por algún componente funcional ya existente lo que garantiza la trazabilidad entre los RF y los RNF.

G. Diseño del Dominio (DD)

- **Construcción del Modelo de Variabilidad**

A partir de la AC completada se obtienen los puntos de variación, denotados por <<vp>>: <<C1>> Networks que agrupa C11, C12; <<C6>> SecurityProt agrupa los mecanismos para la seguridad, <<C7>> AdaptabAPI agrupa los mecanismos para la portabilidad C4. JDBC y C5. ODBC, <<C8>> NetProt agrupa otros protocolos de red para tratar tiempo de respuesta, disponibilidad y capacidad en la transmisión, y <<D18>> RDBMS que agrupa DBMS relacionales y <<D19>> DBMech que agrupa mecanismos propios a los DBMS para satisfacer

las propiedades de calidad capacidad, disponibilidad (por ejemplo bases de datos espejo o replicación), interoperabilidad e integridad; a efectos de legibilidad y abreviar la presentación, las soluciones se dejaron agrupadas en un solo <<vp>>. Todos los subsistemas de L1 y L2 son renombrados como estereotipos por desempeñar las mismas tareas, <<L111>> LMS, <<L121>> LCMS, <<L131>> COLLS, <<L141>> ASSES, <<L211>> HRS, <<L221>> UMS, <<L231>> MAILS; <<L161>> Avail agrupa L16. LMS copy y L17. LCMS copy, <<L151>> AlgorPrec agrupa algoritmos de cálculo, <<L181>> Interop agrupa L18. AICC y L19. SCROM; finally <<P111>> ErrorProt agrupa variantes de sistemas de auto corrección.

Tabla III: Adecuación a IEEE-LTSA de la AR para E-learning Obtenida Aplicando MN-AR al Caso de Estudio

AR LTSA capa 3	Infraestructura Técnica	Recursos Humanos	Recursos de Aprendizaje
L: Learning Entity	Portal, LMS, LCMS, ASSES, UMS	Estudiante	Material de aprendizaje
D: Delivery	LMS, LCMS	Estudiante, Instructor/Autor or Instructor	LMSDB, LCMSDB
E: Evaluation	ASSES, UMS	Instructor, Supervisor	ASSESDB, UMSDB
C: Coach	ASSES, COLLS, HRS, MAILS	Instructor, Supervisor, Administrador	HRSDDB, COLLSDB, ASSESDB
LR: Learning Resources	DBMS		LMSDB, LCMSDB, COLLSDB
R: Register	DBMS	Administrador	UMSDB, HRSDDB

- **Construcción de la AR.** Como se observa de la Figura 9, la AR cumple con las propiedades de calidad especificadas en EL-DQM; en cuanto a los conectores que relacionan los <<vp>>, estos pueden ser también un conjunto de variantes. La AR así obtenida se adapta perfectamente al caso de estudio aquí presentado
- **Adecuación con la IEEE-LTSA.** La Tabla III muestra la adecuación o conformidad de nuestra AR con la capa 3 obligatoria de la IEEE-LTSA [8] (ver Figura 6).

V. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha realizado, a través de un caso de estudio sencillo compuesto por dos procesos de negocio relevantes al dominio e-learning *Crear Contenido* y *Realizar Consulta*, la aplicación paso a paso del proceso MN-AR [4] que permite la obtención de una AR de carácter evolutivo para el dominio e-learning, considerando sus funcionalidades básicas y la trazabilidad con las propiedades de calidad que son requeridas para que estas funcionalidades se desempeñen adecuadamente. Esta propuesta sugiere, como trabajo futuro a corto plazo, una representación más formal, como un modelo conceptual en UML, de los elementos curriculares expresados como reglas de negocio que deben estar presentes para garantizar la obtención de sistemas de aprendizaje electrónicos adecuados, así como el diseño de herramientas de soporte.

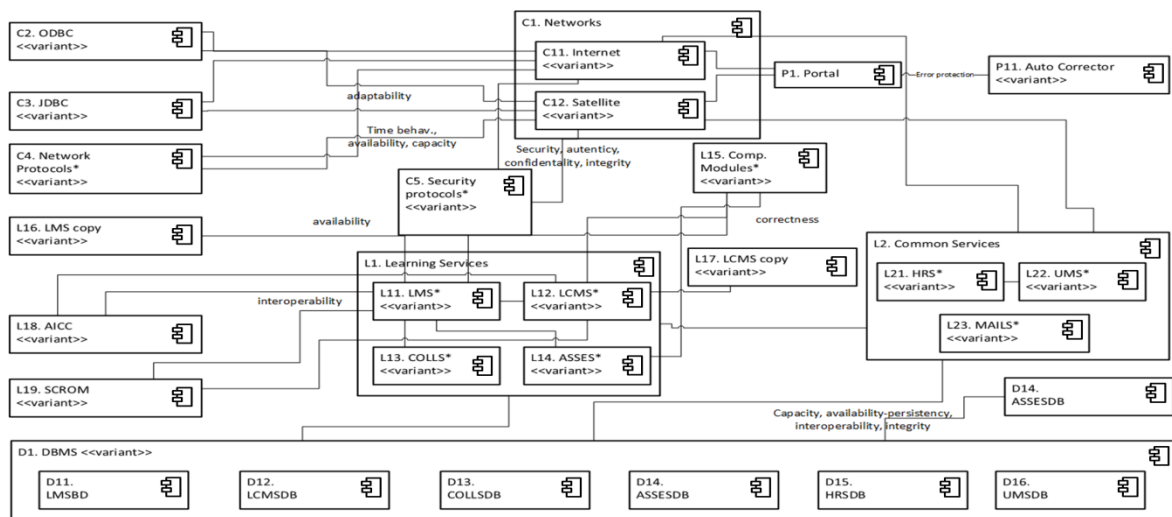


Figura 8: Arquitectura Candidata (AC) Completada en UML (Autores)

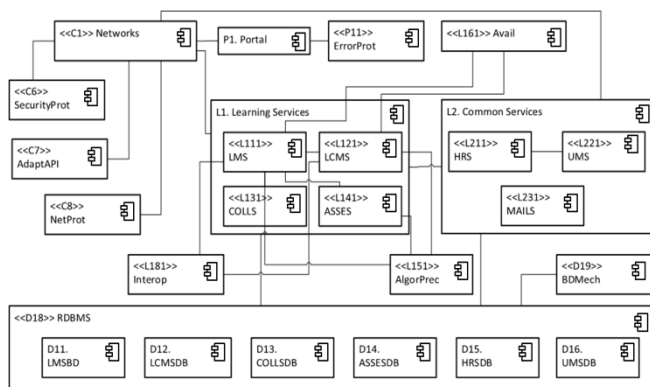


Figura 9: AR en UML para el Dominio E-learning (Autores)

AGRADECIMIENTOS

Al Postgrado en Ciencias de la Computación, Facultad de Ciencias y CDCH (Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico) de la UCV, DARGRAF PG 03-8730-2013-2.

REFERENCIAS

- [1] F. Losavio, O. Ordaz, and V. Esteller. *Refactoring-Based Design of Reference Architecture*. RACCIS 5(1), pp. 32-48, 2.2015
- [2] E. Nakagawa, P. Antonio, and M. Becker. *Reference Architecture and Product Line Architecture: a Subtle but Critical Difference*, Crancovic V., Grhun, and M. Book (Eds.): ECSA 2011, LNCS 6903, pp. 207-211, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- [3] E. Bérard. *Testing of Object-Oriented Software*. Proceedings of the eighth international conference on Technology of object oriented languages and systems. EEUU: Prentice-Hall, Inc. 1992.
- [4] Y. Esteves and F. Losavio. *Modelado del Negocio Dirigido por la Calidad para una Arquitectura de Referencia en el Dominio del Aprendizaje Electrónico*. RACCIS 6(1), pp. 59-76, 2016.
- [5] J. Habraken. *Reference Architecture for E-learning Solutions*, Master Thesis, Open Univ. Faculty Comp. Science, Jan 28, 2008.
- [6] ForceTen Architecture version 4.1; whitepaper from EEDO
- [7] S. Retalis and P. Avgeriou. *Modelling Web-based Instructional Systems*, Journal of Information Technology Education, 1(1), 2002.
- [8] IEEE. *Draft Standard for Learning Technology – Learning Technology Systems Architecture*, Technical Report IEEE-Std Draft-P1484-1, 2002.

- [9] F. Losavio, A. Matteo, and I. Pacilli. *Unified Process for Domain Analysis Integrating Quality, Aspects and Goals*. CLEI Electronic Journal, 17(2), paper 1, 21 pages, August, 2014.
- [10] S. Supakkul and L. Chung. *Integrating FRs and NFRs: A Use Case and Goal Driven Approach*, 2nd ICSE, 30-37, S. Fco. USA, 2004.
- [11] ISO/IEC 25010. *Systems and Software Engineering - Systems and Software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE)*. Systems and Software Quality Models, ISO/IEC JTC1/SC7/WG6. Ginebra, 2011.
- [12] F. Losavio and Y. Esteves. *Modelo del Negocio para Análisis del Dominio del Software Educativo: un Enfoque Centrado en la Calidad del Producto*. Por aparecer en el No. 16, Revista Sapiens UPEL, 2015.
- [13] F. Losavio, L. Chirinos, A. Matteo, and L. Ramdane-Cherif. *Designing Quality Architecture: Incorporating ISO Standards into the Unified Process*. Journal of ISYM, 21(1), 27-44. Johannes Gutenberg: Universität Mainz, 2004.
- [14] S. Otón. *Propuesta de una Arquitectura Software Basada en Servicios para la Implementación de Repositorios de Objetos de Aprendizaje Distribuidos*, Tesis Doctoral, Universidad de Alcalá, España, 2006.
- [15] C. Pagés, J. J. Martínez, and R. Barchino. *Situación Actual de Estandarización de Procesos de Aprendizaje y su Relación con la Información sobre el Alumno*. White Paper: Universidad de Alcalá, España, 2004.
- [16] R. Peredo, A. Canales, L. Balladares, and A. Menchaca. *Arquitecturas para Sistemas de Educación basada en Web usando Programación Orientada a Componentes*. Revista Diálogo Educ., Curitiba, 8(24), pp. 485-502, mayo/agosto 2008.
- [17] UK e-Universities Worldwide. *Principles and Practice in E-Learning Platform Architecture*, UKeU, 2002.
- [18] UNESCO. *Aprendizaje Abierto y a Distancia. Consideraciones sobre Tendencias, Políticas y Estrategias*. Ediciones Trilce. Uruguay, 2002.
- [19] J. Boneu. *Plataformas Abiertas de E-learning para el Soporte de Contenidos Educativos Abiertos*. Revista de Universidad y Sociedad del Conocimiento, 2007.
- [20] J. Berrocal, J. García, J. M. Murillo. *Hacia una Gestión del Proceso Software Dirigida por Procesos de Negocio*, 2005.
- [21] M. Schief, A. Pussep, and P. Buxmann. *Performance of Business Models: Empirical Insights from the Software Industry*. En: ECIS, Barcelona, Spain, Junio 2012.
- [22] OMG. *Business Process Model and Notation (BPMN) 2.0*. 2011.
- [23] Cisco. *Model of an E-Learning Solution Architecture for the Enterprise*. Cisco Systems, 2001. http://www.cisco.com/warp/public/10/wwtraining/elearning/learn/whitepaper_docs/solution_architecture_wp.pdf
- [24] S. Rosenberg. *Beyond e-Learning*, Pfeiffer, 2006.