4to Congreso Argentino de Ingeniería Aeronáutica

MODELO DE ANALISIS Y DISEÑO EN UN CONTEXTO DE DESARROLLO DE SOFTWARE DE INGENIERÍA

N. Mira[a], J. Giro[a,c], J. Bussoli[a], S. Perez[a], F. Coenda[a], V.Clark[b], M. Felippa[b]

[a]*Dpto. Sistemas, Facultad de Ingeniería, Instituto Universitario Aeronáutico - Córdoba, Argentina.*

[b]*Centro de Entrenadores y Simuladores de Vuelo (CES), Fuerza aérea Argentina - Córdoba, Argentina.*

[c]*Dpto. de Ingeniería en Sistemas de Información, FRC, Universidad Tecnológica Nacional- Córdoba, Argentina.*

Palabras claves: Modelos Conceptuales. Modelos de Objetos. Trazabilidad. Diagrama de Clases.

Resumen

Como es bien sabido, una detallada elicitación de requerimientos seguida de un proceso de análisis correcto y completo, que contemple la totalidad de los requerimientos, tanto funcionales como no funcionales, es el punto de partida para dar respuesta a demandas de buen software. En estas fases iníciales, no menos importante es la transición del análisis al diseño, ya que de éste proceso dependerá que el futuro producto software cumpla con sus seis condiciones esenciales, que son: *i)consistencia, ii*) *completitud, iii*) *corrección,* iv) *precisión, v*) *no ambigüedad y vi) trazabilidad.* Al centrarse en el software técnico y altamente complejo, específico de ingenierías especializadas, se debe agregar que desarrollarlo involucra retos completamente diferentes a los que la mayoría de los programadores de software de gestión están acostumbrados. Se trata de dos mundos con sus propios criterios y culturas de desarrollo que persiguen un mismo fin: programar computadores de manera correcta y eficiente, lo que lleva a la convicción de que compartir los conocimientos, experiencias, técnicas y herramientas desarrollados por unos y otros en forma independiente serán indudablemente de enorme beneficio mutuo. En este trabajo se recurre a un caso de estudio en el que se propone un proceso de desarrollo que comienza con la identificación de la naturaleza del software de propósito especifico que se quiere construir y analiza una alternativa de modelado de análisis con su transición al diseño en un problema clásico en el campo del desarrollo de software para la industria. Se evalúan opciones, se discuten los resultados obtenidos y se concluye presentando recomendaciones, que son fácilmente trasladables a otras aéreas de desarrollo de software especializado. Este trabajo se enmarca en la convicción que la Ingeniería de Software tiene todavía mucho que aportar al desarrollo de software técnico, embebido y altamente especializado.

e-mail: nmira@iua.edu.ar

1. INTRODUCCIÓN

Hay dos aspectos, fundamentales y estrechamente vinculados entre sí, que progresivamente reciben menos atención por parte de los miembros de la comunidad informática, que son: 1) El reconocimiento de un límite claro entre las etapas de Análisis y Diseño al abordarse un problema y 2) La necesidad de un procedimiento que haga posible el tránsito ordenado y sistemático desde una a otra etapa, es decir del Análisis al Diseño, cuando se adopta un enfoque orientado a objetos. Naturalmente, el primer aspecto señalado conduce al segundo y ambos son manifestaciones de una cultura informática que, cada vez en mayor medida, subestima la necesidad de distinguir estas etapas fundamentales en todo proceso de desarrollo.

Esta circunstancia despertó la inquietud por identificar las causas del problema, reconocer sus consecuencias y contribuir a esclarecer estos temas, o por lo menos propiciar su debate, convirtiéndose en la fuente de inspiración de este trabajo.

El tratamiento de estas y otras ideas centrales de la Ingeniería de Software pueden quedar enmarcados en la próxima celebración del 50º aniversario de la identificación de la llamada Crisis de Software [1][2]. Las manifestaciones de esta crisis fueron los pobres resultados obtenidos con los desarrollos de sistemas, muchos de ellos de dudosa calidad, que eran difícilmente completados en los plazos y presupuestos previstos. Fue entonces cuando un grupo de estudios de la OTAN (Organización del Tratado del Atlántico Norte) consideró que estas deficiencias crónicas de los proyectos de sistemas podrían ser superadas, adaptando y aplicando al software las prácticas que eran de uso común en las ramas tradicionales de la ingeniería.

Cabe aquí también recordar que veinte años más tarde, en su célebre artículo “No Silver Bullet”, Frederick Brooks [3] advirtió que la Crisis de Software no había sido resuelta, y posteriormente, a mediados de los ’90, Wayt Gibbs [4] volvió sobre este tema reconociendo que la Crisis de Software se mantenía aún presente y sin mayores cambios. En este contexto, parece válido preguntarse cuál es la situación actual y en qué medida los aspectos antes señalados son una manifestación en uno u otro sentido.

Con este fin se retoma un trabajo escrito por uno de los autores hace casi diez años [5], comprobándose que no solo mantienen hoy plena vigencia los aspectos allí tratados sino que se manifiestan como una creciente fuente de problemas, confirmando totalmente las ya citadas y poco halagüeñas apreciaciones de Wayt Gibbs [4]. Por ello, parece recomendable recuperar y compartir esas ideas con las nuevas generaciones de programadores.

El resto de este trabajo se organiza de la siguiente manera. En la *Sección 2* se revisan conceptos de modelado de sistemas y se considera la identificación de objetos, prestando especial atención a los *Casos de Uso* por ser la técnica de modelado dominante en la actualidad. Luego, en la *Sección 3* se propone una metodología que contribuya a superar las dificultades identificadas en la sección anterior. En la *Sección 4* se aplica la metodología propuesta a un caso de estudio, inspirado en un problema real, y se muestran algunos resultados de ese proceso. Finalmente, en la *Sección 5* se presentan las conclusiones de este trabajo e ideas para continuarlo en el futuro.

2. DESDE EL ANALISIS AL DISEÑO

Es conveniente comenzar por concentrar la atención en el modelado de sistemas, donde se comprueban mensajes contradictorios que serán tratados más adelante y que no parecen contribuir a sentar las bases sólidas que son necesarias para resolver problemas. Hasta hace algunos años, la necesidad de una clara distinción conceptual entre las etapas de análisis y diseño, en el ciclo de vida del desarrollo de software, estaba fuera de toda discusión. En la actualidad, sin embargo, parecería que tal distinción viene perdiendo vigencia, en buena medida favorecida por la deficiente aplicación de las metodologías ágiles y por las propuestas de algunos autores al ofrecer técnicas de desarrollo de sistemas en las que no está claro el lugar que ocupan ambas etapas.

En el caso de las metodologías ágiles, en las que su respaldo está centrado en las personas, resulta indispensable que los miembros de los equipos de trabajo cumplan ciertas condiciones; como son una formación conceptual sólida, una efectiva experiencia previa en el desarrollo de software y una clara aptitud para trabajar en equipo. La intención de concretar desarrollos ágiles en ausencia de estas tres condiciones fundamentales e insustituibles, son las que generan confusión e impiden alcanzar los resultados esperados, conduciendo a proyectos inconclusos o productos deficientes.

Retomando la necesaria distinción entre las etapas de análisis y diseño, podría formularse un interrogante: ¿hasta qué punto puede esperarse que se dé respuesta apropiada a un problema que todavía no ha sido completamente reconocido? Fue René Descartes [6] quien estableció con toda claridad que “el análisis de una cuestión en sus aspectos más simples se antepone a la síntesis, o recomposición ulterior de los conocimientos,

para llegar con la ayuda del razonamiento hasta el conocimiento de lo complejo" y no hay nada que indique que este ordenamiento natural pueda ni deba ser alterado.

Tradicionalmente se identifican cuatro modelos básicos: *i*) *Modelo Conceptual* (lo que el usuario sabe o debería saber sobre el sistema deseado), *ii*) *Modelo de Análisis* (la descripción de lo que el sistema debe hacer), *iii*) *Modelo de Diseño* (la descripción de cómo el sistema será implementado) y *iv*) *Modelo Operativo* (la materialización del propio sistema), a los que suelen sumarse algunos otros modelos auxiliares. El proceso de convertir el *Modelo Conceptual* en el *Modelo de Análisis* está reservada a la etapa de Análisis, y el de convertir el *Modelo de Análisis* en el de *Diseño*, a la etapa de Diseño. Previamente debe tener lugar la fundamental etapa de *Elicitación de Requerimientos*, cuya finalidad es reunir los conocimientos necesarios que hagan posible el *Modelo Conceptual*. En este contexto, debe observarse que si fuese factible asegurar la completitud de este primer modelo, el desarrollo evolutivo perdería buena parte de su justificación.

Todos los modelos del ciclo de vida del desarrollo de software prevén éstas etapas iníciales de ingeniería de requerimientos, que son seguidas por las de diseño, implementación y testeo. A las etapas iníciales se les reconoce particular importancia, por ser las encargadas de definir el primer modelo conceptual del sistema a ser desarrollado, y es donde se realizará la identificación, interpretación y documentación de los requerimientos. En este ámbito, el Análisis debe orientarse al problema e identificar sus características esenciales, prescindiendo de cualquier aspecto que esté vinculado a posibles soluciones. Este modelo deberá ser tan simple como sea posible y tan completo como sea necesario. Luego, será el Diseño el que tendrá la finalidad de encontrar la mejor solución, apoyarse en criterios de optimización y considerar todas las posibles opciones juntamente con sus restricciones, incluidas las tecnológicas.

En resumen, obsérvese que en el momento en que se deja de procurar entender un problema para comenzar a idear la forma de resolverlo, se abandona la etapa de Análisis y se comienza con la de Diseño. Así, el resultado final que se obtenga estará decididamente influenciado por el momento en que tenga lugar esta trascendental decisión.

El punto de partida para la definición de los modelos conceptuales es establecer con toda claridad los límites del sistema. Luego, en su descripción, se deben considerar sus tres dimensiones o perspectivas relativamente ortogonales, es decir independientes entre sí, que son: *i*) Dimensión funcional, con las transformaciones que debe realizar el sistema, *ii*) Dimensión estática, con la conformación, descripciones y propiedades de su estructura y *iii*) Dimensión dinámica, con el comportamiento individual y colectivo de sus componentes.

Por lo tanto, las posibles estrategias generales para la elaboración de un modelo quedarán establecidas según el orden en que estas propiedades sean reconocidas al estudiarse el dominio del problema. Así, a lo largo del tiempo, se han ensayado estrategias dirigidas por procesos, dirigidas por datos y dirigidas por comportamiento, y las ventajas e inconvenientes de cada una es tema de un debate todavía abierto.

Obviamente, en todos los casos, la definición de las propiedades de los mismos elementos desde las tres dimensiones ortogonales debe exhibir consistencia, requisito fundamental para la obtención de modelos balanceados, cuya trascendencia fue oportunamente reconocida y enfatizada por Yourdon [7]. Estos modelos deben, además, presentar otras propiedades que son consideradas igualmente esenciales, esperándose que sean completos, correctos, precisos, no ambiguos y trazables. Para alcanzar estas propiedades esenciales los diferentes paradigmas del desarrollo de sistemas han presentado sus propuestas, que están destinadas a la obtención de este primer modelo conceptual.

Naturalmente, los *Casos de Uso* son una referencia obligada por representar la técnica de modelado dominante en la actualidad. Por su gran difusión, los propios *Casos de Uso* no requieren de mayores explicaciones. Sin embargo, resulta curioso comprobar el gran desconocimiento que hay sobre lo que puede esperarse de ellos y, en particular, sobre la forma de transitar hacia un modelo de objetos.

Los *Casos de Uso* representan una abstracción sobre un conjunto de escenarios que describe la funcionalidad de un sistema, por lo que a través de todos sus *Casos de Uso* el modelo funcional debería quedar completamente especificado.

Cabe aquí agregar que Constantine propuso incrementar el nivel de abstracción de los Casos de Uso para dar lugar a los denominados Casos de Uso Esenciales [8]. Para ello incorporó conceptos del Análisis Esencial de McMenamin y Palmer [9], que ya había servido de base a la versión original de los Casos de Uso de Jacobson [10]. De esta manera, los Escenarios, Casos de Uso y Casos de Uso Esenciales constituyen sucesivos modelos de abstracción, idealización y generalización.

Se presenta aquí una aparente contradicción con profundas connotaciones históricas: luego de explorarse numerosas alternativas, el enfoque de objetos incorporó una técnica ajena al paradigma para la definición del modelo de análisis: los Casos de Uso. Esto no debería sorprender si se considera que los conceptos de análisis (descomposición y examen crítico) y de orientación a objetos (encapsulamiento de atributos y capacidades) en realidad se contraponen [11]. Una forma de resolver este conflicto fue postergar el encapsulamiento tanto como fuese posible, lo que implicó volver a sacar el modelado conceptual fuera del paradigma de objetos, adoptando para ello métodos que dispongan de la necesaria flexibilidad y poder expresivo. Bajo este razonamiento, se retornó a la utilización de modelos no orientados a objetos en la especificación de requerimientos, para luego derivar de éstos los modelos de objetos.

El propio Jacobson deja este punto en claro en numerosas oportunidades y a través de comentarios muy ricos conceptualmente. Entre otros muchos, en un artículo [12] expresó "*El modelo de Casos de Uso define los requerimientos del sistema, pero no se ocupa de su estructura interna. En teoría, esto significa que, basado en el modelo de Casos de Uso, cualquier método apropiado de diseño (estructurado u orientado a objetos) puede ser utilizado para construir el sistema, siempre que el producto pueda desempeñar correctamente todos los Casos de Uso*". Luego en el mismo trabajo [12] dijo "*El diseño puede ser descrito como un proceso de generación y validación de una hipótesis. Es decir, dado un Caso de Uso: i) se genera una hipótesis utilizando los principios de diseño **OO** (**O**rientado a **O**bjetos) con uno o más objetos posibles y ii) de alguna manera se valida, con referencia a algún criterio, la hipótesis contra el Caso de Uso original para determinar si se trata de una buena interpretación. Queda establecido un "gap" (brecha) entre un Caso de Uso y su diseño que está planteado en términos de objetos que interactúan*". Finalmente, en [13] sostuvo que "*el modelo de Casos de Uso representa una visión externa del sistema, mientras que el modelo de objetos es una visión interior del mismo*".

Si bien la naturaleza funcional de los *Casos de Uso* no constituye de por sí un problema, es el principal motivo de confusión cuando son utilizados en un contexto de desarrollo orientado a objetos, ya que obviamente las funciones no son objetos y los objetos no son funciones. Los *Casos de Uso* permitirán una visión externa, orientada al usuario de un sistema, que nunca podrá ser tomada como base para definir su arquitectura de objetos. En efecto, esta última arquitectura diferirá significativamente de su arquitectura de descomposición funcional. Sin embargo, hay autores como Kenneth Kendall y Julie Kendall [14], que contribuyen a generar confusión y desconcierto sobre este tema al sostener textualmente que "*El UML se basa fundamentalmente en una técnica de análisis orientada a objetos conocida como modelado de Casos de Uso*" (Pg.287).

En respuesta a esta apreciación, son oportunas las consideraciones de Craig Larman [15], que dice: "*No hay nada orientado a objetos en los Casos de Uso, no estamos haciendo análisis **OO** al escribirlos. Eso no es un problema, los Casos de Uso son ampliamente aplicables, lo que incrementa su utilidad. Dicho esto, los Casos de Uso son clave para el ingreso de los requerimientos al diseño **OO** clásico*" (Pg.120).

Una vez que se han completado los *Casos de Uso* que corresponden a cierto problema, la situación es la siguiente:

a) Sólo se dispone de una incipiente definición de las propiedades estáticas del modelo, que son las obtenidas al estudiarse su dimensión funcional.
b) Se carece de información sobre las propiedades dinámicas o dimensión de comportamiento.
c) Tal como reconoció Jacobson [12], ha quedado claramente establecida una brecha, o *gap*, entre el modelo funcional desarrollado hasta el momento y el modelo de objetos requerido para ingresar en la fase de diseño.

Sobre este último aspecto, Fernandez y Lilius [16] reconocen que "*el salto desde los Casos de Uso y Escenarios a las Clases es, en nuestra opinión, muy grande... Este paso requiere demasiado ingenio, ya que no hay ninguna relación directa evidente entre Casos de Uso y Clases*".

Como se verá, la bibliografía no contribuye demasiado a esclarecer este tema, tal como lo testimonian algunas referencias que se brindan a continuación. Para comenzar, puede citarse a Bruce P. Douglass [17], quién reconoce la necesidad de saltar esta brecha entre paradigmas y admite que no hay ninguna forma automática que permita pasar de una visión funcional, de caja negra de un sistema, a una vista orientada a objetos. En este caso, la metodología propuesta por Douglass, denominada Ropes [18], postula que hay alrededor de una docena de estrategias diferentes que permiten definir los objetos con suficiente grado de aproximación. Similarmente, Ian Sommerville [19] reconoce que hay varias formas de identificar objetos, expresando: "*En la práctica, debe usar varias fuentes de conocimiento para descubrir clases de objetos*" (Pg. 183) y cita el análisis gramatical, la identificación de entidades tangibles y el uso de análisis basado en escenarios. Por su parte, los ya citados Kenneth

Kendall y Julie Kendall [14] enuncian que "*Hay varias formas de determinar las clases… También se debe examinar los Casos de Uso en busca de sustantivos, ya que cada sustantivo puede generar un candidato a una clase potencial…*" (Pg. 308). Roger Pressman [20] no es una excepción y dice "*se emplea un análisis gramatical para obtener candidatos a clases, atributos y operaciones, a partir de narraciones basadas en texto*" (Pg. 156). Arlow y Neustadt [21] también reconocen la existencia de varias técnicas para la identificación de clases, similares a las de las propuestas anteriores.

Muchas de estas estrategias están inspiradas en un trabajo de Abbott [22], denominado Análisis Textual, según el cual: a) los nombres son candidatos a quedar representados por clases, b) los verbos representan operaciones y c) los adjetivos representan atributos. Al margen de la opinión que merezca la rigurosidad de esta técnica de identificación de objetos, está claro que se apoya en una especificación escrita de los requerimientos y no está tan claro cómo se la vincula a los *Casos de Uso* definidos con anterioridad. Al igual que en otras técnicas, como el "*brainstorming*" o el "*role playing*" propuestos por Bellin y Suchman [23], todas ellas procuran identificar primero los objetos, para luego asignarles sus atributos y sus métodos, en un proceso que podría denominarse de explosión de propiedades. Luego, definidos los objetos, se procederá a identificar las clases.

En resumen, el desarrollo de los *Casos de Uso* brindará un modelo que representará las propiedades del sistema en una sola dimensión, sin identificación directa de objeto alguno, y menos aún de una estructura de clases. Con mucha frecuencia, se desarrollan laboriosos modelos de *Casos de Uso* en los que no parece advertirse que el esfuerzo realizado no conduce racionalmente a la Fase de Diseño. En otros casos, para cubrir esta brecha se recurre a heurísticas de las más variadas, y con ello nadie podrá asegurar que el modelo a ser obtenido será consistente, completo, correcto, preciso, no ambiguo ni trazable.

Esta última propiedad del modelo, su trazabilidad, merece un párrafo aparte. Rubin y Goldberg [24] reconocieron que un indicador fundamental de la madurez de una metodología la da la posibilidad de que sus resultados puedan ser verificados y validados, y que "*la clave que permite alcanzar ese nivel de madurez es la trazabilidad*". En efecto, la ausencia de trazabilidad impedirá la objetiva comprobación de las restantes propiedades.

Sin embargo, estas aparentes falencias de los *Casos de Uso* no son tales, todo lo contrario, se trata de un excelente modelo de la dimensión funcional del sistema a ser desarrollado, que una vez definido no es convenientemente aprovechado. En efecto, aquí es necesario advertir que sólo falta convertir el modelo funcional representado por los Casos de Uso al paradigma de objetos y completarlo en las dimensiones restantes. En realidad, el verdadero problema sólo es el de cubrir la brecha (*gap*) entre paradigmas, ya que tanto la dimensión estática como la dinámica se completarán con mucha facilidad una vez que se haya definido el diagrama de clases. Por lo tanto, aquí puede concluirse en que la correcta identificación de las clases es el aspecto crucial en un modelado de objetos.

Tal como ya fue anticipado, la mayoría de las técnicas son explosivas, en el sentido que identifican objetos para luego asignarles sus propiedades. Sin embargo, hay también propuestas implosivas, mucho menos difundidas pero probablemente más racionales, que recomiendan operar en sentido inverso.

Los trabajos de Biddle y otros [25, 26 y 27] son un ejemplo de este enfoque implosivo, y se apoyan en la identificación de las responsabilidades del sistema para la definición del modelo de objetos. Otra precursora en centrar la atención en las responsabilidades fue Rebecca Wirfs-Brock, con su "diseño dirigido por responsabilidades" [28], sólo que con un enfoque explosivo en que los objetos debían ser identificados con anticipación.

Aquí es necesario recordar que, en el modelado de objetos, las responsabilidades quedan expresadas por sentencias que describen servicios, ya sean referidas a acciones que deben ser realizadas o conocimientos que deben mantenerse y proveerse. Obsérvese que una responsabilidad no es lo mismo que un método, ya que los métodos son implementados para hacerse cargo de las responsabilidades. Además, la conversión de responsabilidades en métodos depende fuertemente de la granularidad de la responsabilidad. En efecto, las responsabilidades son implementadas a través de métodos que actúan en forma independiente, o colaboran con otros métodos y objetos, en esquemas interrelacionados que pueden llegar a ser muy complejos. Así, el hilo conductor entre las responsabilidades y los objetos pasa necesariamente por los métodos.

3. UNA RESPUESTA AL PROBLEMA PLANTEADO

3.1. Ideas centrales

La propuesta que aquí se presenta recurre a las responsabilidades del sistema para construir un puente entre el modelo funcional y el modelo de objetos, perfeccionando un procedimiento presentado con anterioridad por uno

de los autores de este trabajo [29] y que tiene un antecedente en Meilir Page-Jones [30], que utilizaba los eventos del Análisis Esencial [9] para definir sub-modelos que conducían a los objetos, en un método que denominó "Synthesis".

El procedimiento propuesto tiene bastante en común con los mencionados trabajos de Biddle y otros [25, 26 y 27], y su principal diferencia es que la identificación de las responsabilidades se hace a partir de las actividades esenciales del modelo funcional, que pueden ser perfectamente determinadas tanto desde los Casos de Uso Esenciales [8], el Análisis Esencial [9] o también desde los Casos de Uso [10].

Sin que puedan establecerse reglas definitivas, los Casos de Uso parecerían más apropiados para modelar sistemas de gestión, los Casos de Uso Esenciales para modelar interfaces y el Análisis Esencial para modelar sistemas técnicos y embebidos. Sin embargo, estas recomendaciones no pueden considerarse concluyentes, la elección se apoyará necesariamente en la experiencia, y la forma más conveniente de alcanzar cada modelo debe continuarse estudiando.

Con esta propuesta se pretende dar así respuesta al modelado de estos últimos tipos de sistemas (técnicos y embebidos), de creciente importancia en el mundo moderno, en el que la actividad cotidiana es cada vez más dependiente de la informática, aún en la realización de las tareas más elementales. Podría considerarse una paradoja que estos sistemas, muchos de los cuales no toleran fallas por ser sus consecuencias de costos incalculables (sistemas críticos), estén todavía muy poco contemplados por las técnicas de modelado tradicionales y no haya recomendaciones concluyentes e indiscutidas para transitar de manera ordenada, sistemática y segura del modelo de Análisis al modelo de Diseño..

Nótese que, con este enfoque, se recurre a las responsabilidades para establecer un camino bidireccional entre ambos modelos, apoyándose en el postulado básico de que las capacidades de un sistema son intrínsecas, y obviamente independientes de su modo de representación. Expresando este concepto desde ambos paradigmas, puede decirse que: a) La funcionalidad global de un sistema queda completamente definida por sus *Actividades Esenciales* y b) El conjunto de todas las responsabilidades, que están distribuidas en sus clases, representa lo que el sistema es capaz de realizar [29], con lo que se completa un proceso concurrente.

Esta tarea de establecer vínculos entre las *Actividades Esenciales* y los objetos se puede facilitar enormemente con un ordenamiento en el que se identifiquen primero las sucesivas responsabilidades asociadas al modelo funcional y se definan progresivamente los objetos que a través de sus métodos tendrán a su cargo cada una de estas responsabilidades. Simultáneamente, a medida que los objetos son identificados, se procede a determinar la estructura de clases más conveniente recurriendo para ello a las célebres fichas "CRC" de *Clases, Responsabilidades y Colaboraciones* [28].

Estas fichas CRC fueron originalmente propuestas como una herramienta para la enseñanza del paradigma de objetos por Beck y Cunningham [31] y alcanzaron amplia difusión a partir del libro de Rebecca Wirfs-Brock [28]. En efecto, constituyen una valiosa herramienta informal que contribuye al ordenamiento de las clases y a identificar las relaciones entre ellas, ya que un objeto puede cumplir con sus responsabilidades por sí mismo o solicitando a su vez la asistencia a otro objeto, es decir, solicitando la necesaria colaboración.

Luego, a partir de un diagrama de clases ya consolidado, y de las exigencias temporales del problema, se confeccionan los Diagramas de Secuencias y Diagramas de Estados. Los primeros documentan el comportamiento dinámico del sistema a nivel de objetos y los segundos, en un mayor nivel de detalle, se refieren a las condiciones que deben contemplar sus métodos. Nótese aquí que, contrariamente a lo visto frecuentemente en la literatura, recién será posible incursionar en la dimensión dinámica del modelo una vez que esté muy avanzada la definición de las restantes dos dimensiones: funcional y estática.

Así, el modelo finalmente obtenido y normalmente denominado Modelo de Análisis, se apoya en las *Actividades Esenciales* para la definición funcional, el *Diagrama de Clases* para la definición estática-estructural y su comportamiento (modelo dinámico) queda representado en los mencionados *Diagramas de Secuencia* y *Diagramas de Estados*. De esta manera se define un procedimiento claramente encuadrable como implosivo, por el cual se procede a evolucionar el modelo desde los atributos hacia las clases de manera ordenada y sistemática, condiciones indispensables para alcanzar una solución eficiente y que no ofrezca dudas.

Recién ahora, una vez que se ha completado el Modelo de Análisis, queda abierto el camino para proseguir con la fase de diseño, que completará el Diseño Arquitectónico para proseguir con el Diseño Intermedio y finalmente el Diseño de Detalle. Aquí, el desafío es identificar la mejor solución posible que sea compatible con: 1) los requerimientos funcionales, 2) los requerimientos no funcionales, 3) las

posibilidades que ofrece la tecnología y 4) reduzca al mínimo el impacto de los riesgos y restricciones que puedan presentarse.

3.2. Procedimiento Propuesto

El procedimiento que se presenta tiene la finalidad de cubrir la brecha entre paradigmas, es decir la identificación de objetos a partir de un modelo funcional. Para su aplicación, es obviamente necesario haber completado el modelo funcional, que estará definido en base a las actividades esenciales. Para ello, habrá que identificar los eventos a los que el sistema debe responder y para ello resulta muy ilustrativo un diagrama de contexto, ya sea que se utilicen los *Casos de Uso Esenciales* [8] o el *Análisis Esencial* [9]. En caso de haberse apoyado el modelo funcional en los *Casos de Uso* [10] o *Escenarios*, habrá que alcanzar mayor nivel de abstracción e identificar las actividades esenciales del sistema. Una vez cumplido este requisito, los pasos a cumplir son los siguientes:

a) Identificar las *Actividades Esenciales* y reconocerlas como *Responsabilidades Esenciales* del sistema estudiado.

b) Reconocer al Sistema estudiado como un único objeto, que dispone de un conjunto de métodos que se corresponden con cada una de las *Responsabilidades Esenciales* antes identificadas. Es decir, este objeto queda representado por el diagrama de contexto del sistema.

c) Encontrar las *Responsabilidades Básicas* que están involucradas en cada una de las *Responsabilidad Esenciales*. Para ello, se construye un modelo funcional fragmentado destinado a representar internamente al sistema. La elaboración de este modelo funcional fragmentado se realiza bajo un proceso de perfeccionamiento progresivo, en el que nuevos eventos y actividades pueden ser reconocidos a medida que se los completa [32].

d) Incorporar las *Responsabilidades Básicas* al único objeto identificado hasta ahora.

e) Ordenar y revisar las *Responsabilidades Básicas*, a efectos de identificar responsabilidades delegables, comunes o afines, que justifiquen la definición de nuevos objetos que las contengan.

f) Continuar el proceso de identificación de responsabilidades delegables y la justificación de nuevos objetos, hasta que la estructura de responsabilidades y colaboraciones se estabilice. Para ello, resulta muy útil implementar procedimientos que emulen las facilidades que ofrecen las fichas CRC [23].

g) Representar la estructura del sistema en un Diagrama de Clases.

h) Representar la dimensión dinámica del problema mediante *Diagramas de Secuencia* y *Diagramas de Estados*, para lo que será necesario acudir a la especificación del problema y a su modelo conceptual.

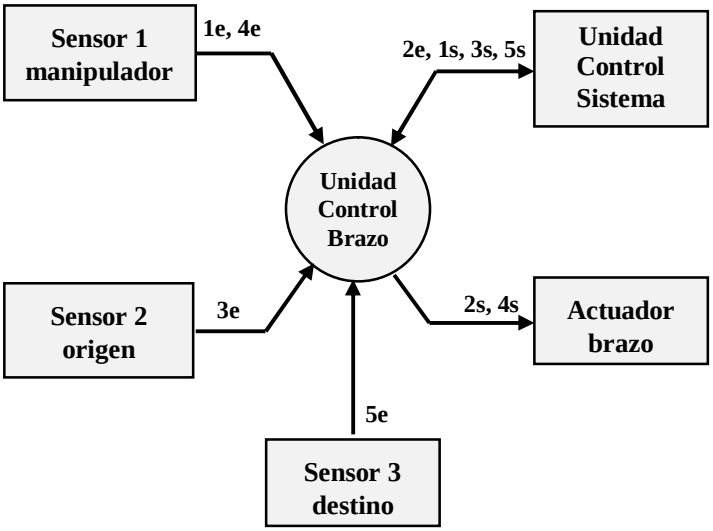
Debe observarse que el procedimiento propuesto incluye, tanto para el modelo funcional como para el modelo de objetos, procesos de ajustes progresivos que tiene por finalidad el perfeccionamiento gradual de ambos modelos. Aquí debe reconocerse que este procedimiento es orientativo, admitiendo seguramente variantes que conduzcan a una mayor eficiencia u objetividad.

Nótese además que con este procedimiento se asegura la trazabilidad entre las actividades esenciales y la estructura de clases, que está determinado por el vínculo bidireccional que fue establecido entre ambas. En efecto, las clases tienen asignadas responsabilidades, las que a su vez fueron identificadas a partir de las actividades esenciales y particiones de la memoria esencial. No puede haber ninguna responsabilidad presente en alguna clase que no responda directa o indirectamente al cumplimiento de una actividad esencial.

4. APLICACIÓN A UN CASO DE ESTUDIO

Se tomó como caso de estudio la unidad de control del brazo robot de un centro de mecanizado. El centro se encuentra conformado y de manera interconectada por una unidad de control, una cinta transportadora de entrada, una de salida, diferentes máquinas y un brazo robot; éste último, encargado de manipular las piezas.

Las operaciones de mecanizado son realizadas según el orden previsto por las fichas de proceso para cada tipo de pieza, las que se identifican con códigos de barras. La coordinación del centro de mecanizado fue objeto de un estudio anterior de Díaz y otros [33] y aquí se centra la atención en el control del brazo, cuyo diagrama de contexto se presenta en la Figura 1.



Referencias: **Xe** – Estímulo de evento X
Xs – Respuesta a evento X

Figura 1- Diagrama de Contexto de la Unidad de Control del brazo de robot.

En este caso, el diagrama de contexto fue obtenido empleando el Análisis Esencial [9] y a continuación se aplicó el procedimiento presentado hasta arribar al diagrama de clases del sistema. Como resultados del Análisis Esencial se obtuvieron los cinco eventos reconocidos por el sistema y las actividades esenciales asociadas a sus estímulos, los que se presentan en la Tabla 1.

N	Evento	Actividad esencial
1	Sensor 1 indica manipulador libre	Comunicar a Unidad de Control brazo disponible
2	Unidad de Control ordena traslado de pieza.	Recibir y almacenar origen y destino de pieza. Mover brazo a punto de origen.
3	Sensor 2 indica brazo en origen.	Informar a Unidad de Control brazo en posición.
4	Sensor 1 indica pieza en manipulador.	Sujetar pieza y trasladarla a destino.
5	Sensor 3 indica brazo en destino	Informar a Unidad de Control brazo en posición. Liberar pieza.

Tabla 1 – Listado de eventos reconocidos y actividades esenciales previstas

Siguiendo el procedimiento propuesto, se reconocieron las Actividades Esenciales como Responsabilidades Esenciales y todas ellas fueron asignadas a un único objeto, que representó la Unidad de Control del brazo (pasos “a” y “b”).

Luego se identificaron las responsabilidades básicas, que en total resultaron catorce y son mostradas en la Tabla 2. También fueron incorporadas al único objeto hasta aquí definido (pasos “c” y “d”).

Una vez incorporadas al único objeto todas las responsabilidades que pudieron definirse hasta ese momento, se continuó con la tarea de delegarlas e identificar los objetos (pasos “e” y “f”).

Evento	Responsabilidades Básicas
1	Reconocer señal de sensor 1 (libre)
	Comunicar a UC brazo disponible
2	Reconocer mensaje de Unidad Control
	Registrar en memoria origen y destino
	Reconocer señal de sensor 1 (libre)
	Definir trayectoria y mover brazo a origen
3	Reconocer señal de sensor 2 (brazo en origen)
	Comunicar a UC brazo en origen
4	Reconocer señal de sensor 1 (ocupado)
	Sujetar pieza
	Definir trayectoria y mover brazo a destino
5	Reconocer señal de sensor 3 (brazo en destino)
	Liberar pieza
	Comunicar a UC operación cumplida

Tabla 2 – Listado de Responsabilidades Básicas

Para ello, se adoptó como norma que en cada ciclo de ajuste se definía un único nuevo objeto, por lo que alcanzar una estructura estable con un total de siete clases demandó otros tantos ajustes. Se enumeran las siete clases que fueron identificadas (en negrita) con sus quince métodos en la Tabla 3.

1) Unidad de Control del brazo
- Manipulador libre
- Recibe orden trasladar pieza
- Brazo a posición de origen
- Brazo a posición destino
- Liberar pieza y operación cumplida

2) Reconocimiento de sensores
- Reconoce condición de sensor

3) Interfaz con Unidad de Control Central
- Comunica condición a Unidad de Control
- Reconoce orden de Unidad de Control

4) Actuador sobre piezas
- Sujeta y libera pieza

5) Operador del brazo
- Almacena datos origen y destino
- Define trayectoria
- Mueve brazo

6) Comunicaciones
- Recibe mensaje
- Transmite mensaje

7) Controla movimiento brazo
- Verifica posición y corrige rumbo

Tabla 3: Enumeración de las 7 clases identificadas con sus correspondientes métodos

Se alcanzó así la estructura de clases y las relaciones entre ellas, que es representada en la Figura 2. Esto se realizó para el sistema en estudio a través de un procedimiento sistemático que, como se puede comprobar, en primera instancia, no presenta gran dependencia de la experiencia previa de quién lo aplica, sino más bien de la calidad del modelo funcional que le sirve de base.

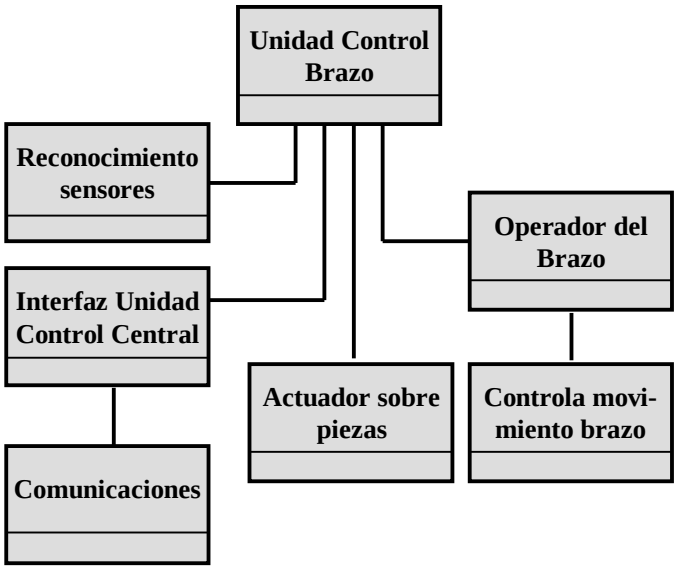


Figura 2- Diagrama de Clases resumido

Al quedar establecido un vínculo claro entre el modelo funcional y la estructura de clases se garantiza una verdadera trazabilidad en ambos sentidos. En efecto, con mucha facilidad pueden establecerse las relaciones entre las *Actividades Esenciales* y sus clases relacionadas, como es el caso del ejemplo representado en la Figura 3.

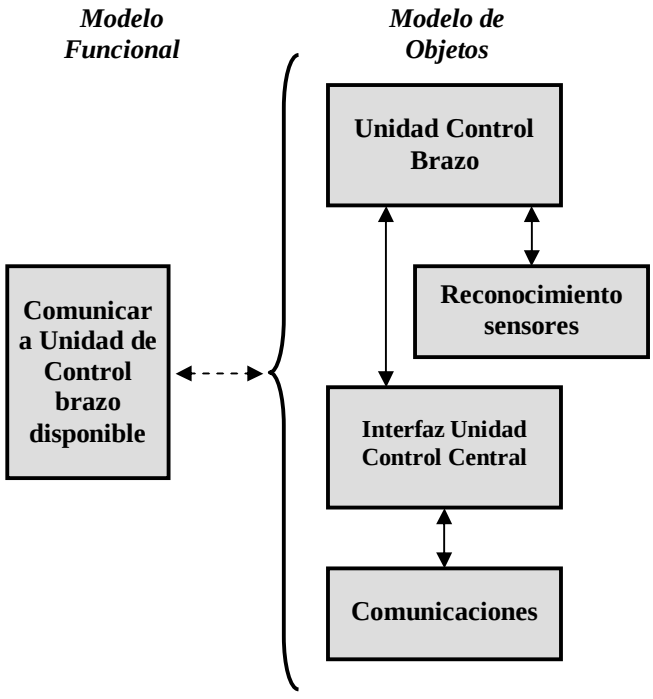


Figura 3 Trazabilidad entre una Actividad Esencial y las clases relacionadas

Una vez conocida la dimensión funcional (Eventos, responsabilidades y métodos) y dimensión estática (Objetos, clases y sus estructuras) del problema, el paso siguiente es definir la dimensión dinámica, que quedará representada por Diagramas de Secuencia y Diagramas de Estados. Para la definición de estos diagramas será necesario una detallada revisión de las especificaciones funcionales y no funcionales del sistema. Una vez que todo esto está definido se está en condiciones de ingresar a la fase de diseño, tarea que se podrá cumplir sin riesgo de omisiones o ambigüedades.

Llegado a este punto puede sostenerse que hay poco margen para que dos modelados del mismo problema a cargo de dos personas diferentes (con suficiente experiencia) den lugar a estructuras de clases diferentes. Todo lo

contrario, están las condiciones dadas para arribar a un modelo de clases único.

Otro aspecto estudiado fue el esfuerzo que demanda su efectiva aplicación en casos complejos, y se concluyó en la conveniencia de disponer de herramientas de gestión (*CASE*) que faciliten la administración de los recursos y sus relaciones en ambos modelos.

5. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Que a casi cincuenta años de la identificación de la crisis de software, prestigiosos autores de libros de gran difusión presenten ideas confusas, y algunas veces hasta erróneas, es un hecho nada auspicioso. Más bien parecería una confirmación de las denuncias de Gibbs [4], quién ya muchos años atrás advertía que la crisis de software se había hecho crónica. Esto da también lugar a plantear un interrogante: ¿si no se ha logrado establecer definitivamente un concepto tan primario, como es el de la definición de objetos, qué margen hay para introducir efectivamente nuevas ideas, tales como son los sistemas autoadaptativos, el Self Healing o la Programación Orientada a Aspectos (AOP)? Menos aún cuando, como en el caso de esta última, se vulnera una propiedad hasta ahora considerada esencial en los objetos: el encapsulamiento. Retomando lo ya expresado en la introducción de este trabajo, parecería muy necesaria una profunda evaluación de la situación actual y su proyección futura.

Pasando ahora al procedimiento propuesto para identificar objetos y asegurar la trazabilidad de los modelos, puede decirse que mostró buenos resultados en los casos en que fue aplicado. Los próximos pasos serán: emplearlo en el desarrollo de modelos de sistemas progresivamente más complejos y desarrollar herramientas que faciliten su aplicación.

Además, y tal como ya fue comentado, se espera también confirmar que este método es adecuado para el tratamiento de sistemas de tiempo real y sistemas embebidos, que a pesar de su creciente difusión, son todavía muy poco contemplados por las técnicas tradicionales de modelado.

En relación a ello, se considera que a la hora de la evaluación y comparación de métodos, el requisito excluyente debe ser el aseguramiento de la calidad de los resultados. En efecto, es bien sabido que el costo de subsanar errores en las etapas tempranas del ciclo de vida de un sistema supera ampliamente el costo extra asociado a un correcto modelo de análisis. Además, aquí hay que tener presente que en las ingenierías tradicionales, que la ingeniería de software pretende emular, no se concibe una gran obra que no esté precedida del esfuerzo necesario para asegurar la mejor solución posible.

Cabe finalmente reconocer que el procedimiento presentado es, seguramente, sólo uno más de las numerosísimas propuestas que se han hecho con esta misma finalidad. Es decir, que el problema no estaría en la falta de ideas, sino en que estas ideas trasciendan los ámbitos de investigación y sean efectivamente aplicadas en la actividad cotidiana.

REFERENCIAS

[1] Bauer, F.: “NATO Software Engineering Conference”, Report of a conference sponsored by the NATO Science Committee, *Garmisch, Germany,* Edited by P. Naur and B. Randell, 1968.

[2] Dijkstra, E.: “The Humble Programmer”, ACM Turing Award Lecture (EWD340), published in the Communications of the ACM, 1972.

[3] Brooks, F.: “No Silver Bullet, Essence and Accidents of Software Engineering”, Computer Magazine, Vol. 20, No. 4, 10-19, 1987.

[4] Gibbs W.: “Software's Chronic Crisis”, Trends In Computing, Scientific American, 86, 1994.

[5] Giró, J.: "Definición de Modelos a partir de sus Responsabilidades", Jornadas de Investigación y Desarrollo en Ingeniería de Software, JIDIS, Facultad Regional Córdoba, UTN, 2007.

[6] Descartes, R.: “El Discurso del Método”, 1637.

[7] Yourdon, E.: “Modern Structured Analysis”, Prentice-Hall Inc, 1993.

[8] Constantine, L.: “What do users want? Engineering Usability into Software”, Window Technical Journal, 1995.

[9] McMenamin, S. , Palmer, J.: “Essential Systems Analysis”, Prentice Hall, 1984.

[10] Jacobson, I.: “Object-Oriented Software Engineering: A Use Case Driven Approach”, Addison-Wesley, Reading, Mass, 1992.

[11] Bustos Reinoso, G.: “Modelado Orientado a Objetos: Una Evaluación Crítica”, Revista Facultad de Ingeniería, Nº 10 (Octubre), Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, Chile, 1999.

[12] Jacobson, I.: "Use Cases and Objects", Beyond Object Orientation, 1(4), 1994.

[13] Jacobson, I.: “The Use-Case Construct in Object-Oriented Software Engineering”, Cap. 12, J. M. Carroll (ed.), Scenario-Based Design, Wiley, NY, 1995.

[14] Kendall, K., Kendall, J.: “Análisis y Diseño de Sistemas”, 8ª Edición, Pearson México, 2011.

[15] Larman, C.: "Applying UML and Patterns: an introduction to Object Oriented Analysis and Design and Interactive Development", USA: Addison Wesley Professional, 2004.

[16] Fernandez, J. y Lilius, J.: "Functional and Object-Oriented Views in Embedded Software Modeling", Proc. of the 11th IEEE International Conference and Workshop on the Engineering of Computer-Based Systems, 378-387, 2004.

[17] Douglass, B.: “Real Time UML”, Second Edition, The Component Software Series, Addison-Wesley, 2000.

[18] Douglass, B.: “Ropes, Rapid Object-Oriented Process for Embedded Systems”, I-Logic Inc, 1999.

[19] Sommerville, I.: “Ingeniería de Software”, 9ª edición, Pearson, 2011.

[20] Pressman, R.: "Ingeniería del Software, Un enfoque práctico", 7ª Edición, McGrawHill, 2010.

[21] Arlow, J., Neustadt, I.: “UML 2”, Ed. Anaya, 2005.

[22] Abbott, R.: “Program design by Informal English Descriptions”, Communications of the ACM, Vol 26, No.11, 1983.

[23] Bellin, D., Suchman, S.: “The CRC Card Book”, Addison-Wesley, 1997.

[24] Rubin, K., Goldberg, A.: “Getting to Why”, Journal of Object-Oriented Programming, Vol. 6, No. 4, July-Aug, pp. 5, 8-10, 13, 1993.

[25] Biddle, R., Noble, J., Tempero, E.: “Essential Use Cases and Responsability in Object-Oriented Development”, Proc. of the Australasian Computer Science Conference, Melbourne, Australia, 2002.

[26] Biddle, R., Noble, J., Tempero, E.: “Sokoban: a system object case study”, Proc. of Technology of Object-Oriented Languajes and Systems, Sydney, Australia, 2002.

[27] Biddle, R., Noble, J., Tempero, E.: “From Essential Use Cases to Objects”, Constantine & Lockwood, Ltd, Use 2002 Proceedings, 2002.

[28] Wirfs-Brock, R., Wilkerson, B., Wiener, L.: “Designing Object-Oriented Software”, Prentice Hall, 1990.

[29] Giró, J.: “Análisis Esencial Orientado a Objetos, una metodología alternativa para modelar sistemas de tiempo real”, ASSE 2005, Jaiio 34, 291-305, 2005.

[30] Page-Jones, M.: “The Synthesis Method”, Panel Report: From Events to Objects, Addendum to the Proceedings, OOSPLA’92, Vancouver, Canada, 55-59, 1992.

[31] Beck, K., Cunningham, W.: “A Laboratory for Teaching Object-Oriented Thinking”, Proceedings OOPSLA’89, 1-6, 1989.

[32] Ruble, D.: “Practical Analysis & Design for Client / Server & GUI Systems”, Prentice-Hall Inc, 1997.

[33] Diaz, F., Etchegoyen, J., Giró, J.: “Modelo de operación de un brazo de robot”, Curso de Técnicas y Herramientas, Magíster en Ingeniería de Software, Universidad Nacional de La Plata, 2002.

DATOS DE CONTACTO

Departamento Computación e Informática, Facultad de Ingeniería, Instituto Universitario Aeronáutico
Ciudad de Córdoba, Argentina *http://www.iua.edu.ar*
Natalia Mira: nmira@iua.edu.ar