

*Revista*  
*Española de*  
**Innovación,**  
**Calidad e**  
**Ingeniería del Software**



Volumen 4, No. 1, abril, 2008

**Web de la editorial: [www.ati.es](http://www.ati.es)**

**E-mail: [editor-reicis@ati.es](mailto:editor-reicis@ati.es)**

**ISSN: 1885-4486**

Copyright © ATI, 2008

Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida, almacenada, o transmitida por ningún medio (incluyendo medios electrónicos, mecánicos, fotocopias, grabaciones o cualquier otra) para su uso o difusión públicos sin permiso previo escrito de la editorial. Uso privado autorizado sin restricciones.

Publicado por la Asociación de Técnicos en Informática

## **Revista Española de Innovación, Calidad e Ingeniería del Software (REICIS)**

### **Editores**

**Dr. D. Luís Fernández Sanz**

Departamento de Ciencias de la Computación, Universidad de Alcalá

**Dr. D. Juan José Cuadrado-Gallego**

Departamento de Ciencias de la Computación, Universidad de Alcalá

### **Miembros del Consejo Editorial**

**Dr. Dña. Idoia Alarcón**

Depto. de Informática  
Universidad Autónoma de Madrid

**Dr. D. José Antonio Calvo-Manzano**

Depto. de Leng y Sist. Inf. e Ing. Software  
Universidad Politécnica de Madrid

**Dra. Tanja Vos**

Instituto Tecnológico de Informática  
Universidad Politécnica de Valencia

**D. Raynald Korchia**

SOGETI

**D. Rafael Fernández Calvo**

ATI

**Dr. D. Oscar Pastor**

Depto. de Sist. Informáticos y Computación  
Universidad Politécnica de Valencia

**Dra. Dña. María Moreno**

Depto. de Informática  
Universidad de Salamanca

**Dra. D. Javier Aroba**

Depto de Ing.El. de Sist. Inf. y Automática  
Universidad de Huelva

**D. Antonio Rodríguez**

Telelogic

**Dr. D. Pablo Javier Tuya**

Depto. de Informática  
Universidad de Oviedo

**Dra. Dña. Antonia Mas**

Depto. de Informática  
Universitat de les Illes Balears

**Dr. D. José Ramón Hilera**

Depto. de Ciencias de la Computación  
Universidad de Alcalá

---

## Contenidos

---

REICIS

<b>Editorial</b>	<b>4</b>
<i>Luís Fernández-Sanz, Juan J. Cuadrado-Gallego</i>	
<b>Presentación</b>	<b>5</b>
<i>Luis Fernández-Sanz</i>	
<b>Una ontología para la gestión del conocimiento de proyectos software</b>	<b>6</b>
<i>Francisco J. Ruiz Bertol y Javier Dolado</i>	
<b>Orientación a aspectos en UML2 sin extensiones</b>	<b>23</b>
<i>María del Pilar Romay Rodríguez, Carlos E. Cuesta Quintero y Marcos López Sanz</i>	
<b>Sección Actualidad Invitada:</b>	<b>50</b>
<b>Proceso de selección de productos software en el Ministerio de Defensa</b>	
<i>José Gonzalo Delgado De Luque, Director de proyectos informáticos, Centro de Desarrollo de Software (Área de Tratamiento de la Información), Secretaría General Técnica, Ministerio de Defensa</i>	

## Orientación a aspectos en UML2 sin extensiones

María del Pilar Romay Rodríguez

Depto. de Sistemas Informáticos, Universidad Europea de Madrid

[pilar.romay@gmail.com](mailto:pilar.romay@gmail.com)

Carlos E. Cuesta Quintero, Marcos López Sanz

Depto. Lenguajes y Sistemas Informáticos II, Universidad Rey Juan Carlos

[carlos.cuesta@urjc.es](mailto:carlos.cuesta@urjc.es), [marcos.lopez@urjc.es](mailto:marcos.lopez@urjc.es)

### Abstract

Aspect-oriented software development has evolved far beyond its implementation-level origin and has extended to encompass the entire software lifecycle. Several approaches have tried to express aspect-oriented concepts and principles at the design level, using adequate notations. Most of them have defined some UML profile, or even an extended metamodel, to provide this conceptual framework. However, this article argues that this is actually unnecessary, and UML2 (version 2.1 indeed) provides a native support to describe aspects, once it is carefully considered. The basic idea is to use the new support for *role models* in UML2, and exploit the analogies between roles and aspects to build an aspect-oriented approach. Hence the article explores the evolution of role models in UML, and the specific issues of the current version, where they are strongly tied to the architectural support, defined as the “parts-and-ports” schema. Based on this framework a *dual model for invasive composition* is defined, which is able to include every relevant aspect-oriented concept, and making any specific extension unnecessary.

### Resumen

El desarrollo de software orientado a aspectos ha evolucionado más allá de su origen, ligado al nivel de implementación, y se ha extendido por todo el ciclo de vida. Diversos enfoques han tratado de describir los conceptos y principios orientados a aspectos en el nivel de diseño, utilizando notaciones apropiadas. La mayoría han definido algún perfil de UML, o incluso un metamodelo extendido, con el fin de proporcionar el marco conceptual necesario. Este artículo expone, sin embargo, que esto no es necesario, y que UML2 (concretamente la versión 2.1 actual), si se estudia con cuidado, proporciona ya un soporte nativo para la descripción de aspectos. La idea básica es utilizar el nuevo soporte para modelos de roles de UML2, y utilizar las analogías entre roles y aspectos para elaborar un

enfoque orientado a aspectos. Por tanto, el artículo explora la evolución de los modelos de roles en UML, así como los detalles específicos de la versión actual, en la que se encuentran fuertemente ligados al soporte arquitectónico definido mediante el modelo de “partes-y-puertos”. Así pues, se define un modelo dual de composición invasiva basado en este esquema, de modo que se incluye todo concepto orientado a aspectos relevante, sin que haya sido necesaria ninguna extensión específica.

**Palabras Clave:** Orientación a Aspectos, Separación de Asuntos, Modelo de Roles, Colaboración, Clasificador Estructurado, Conectable, Uso de Colaboración, UML2.

## **1. Introducción**

A lo largo de la última década, el enfoque de *orientación a aspectos* [8] ha alcanzado un grado de popularidad significativo. Ligado inicialmente a la orientación a objetos, se presenta como un modelo extendido que pretende superar las limitaciones inherentes a este paradigma. Sin ser el único, ni mucho menos, ha logrado una difusión mayor que la de otras propuestas alternativas y en principio equivalentes; y ha superado los límites de su definición original, extendiéndose a niveles de abstracción más altos e incluso a las etapas iniciales del ciclo de vida (los llamados “aspectos tempranos”). Su mayor mérito, en cualquier caso, consiste en haber llamado la atención sobre los límites del modelo de objetos, presentando toda una serie de técnicas que pretenden superarlos. Se ha de tener en cuenta que bajo el nombre genérico de *aspectos* se engloban ahora tanto la propuesta específica donde se definió ese término [14], como una serie de enfoques muy distintos, pero basados esencialmente en los mismos principios [8][11][13][16].

Considerados a nivel de diseño, lo esencial del modelo de aspectos no es ni la definición de un nuevo tipo de módulo, ni la presencia de un mecanismo de tejido (*weaving*) capaz de combinarlos; tampoco es necesario definir un nuevo marco conceptual que rompa con modelos anteriores. En realidad, el único requisito de un esquema aspectual es que sea capaz de superar las barreras de la modularidad clásica, de modo que proporcione soporte para separar los asuntos sobre un modelo de *composición invasiva* [2].

A lo largo de la última década se han hecho decenas de propuestas de diversos *profiles* de UML que extendían convenientemente su metamodelo para soportar de manera

adecuada los principios y conceptos de la orientación a aspectos, usando típicamente mecanismos ligeros [20][24], pero también los pesados [3]. Desde propuestas iniciales muy primitivas [24] se ha evolucionado hasta propuestas de gran complejidad que, bien desarrollan el modelo JPI hasta sus detalles más concretos [20], o bien describen otras extensiones de la composición invasiva probablemente más adecuadas a nivel de diseño, tanto con un enfoque simétrico [21] como asimétrico [3].

No obstante, este artículo plantea que estas extensiones no son realmente necesarias, y que UML2 “puro” proporciona el soporte necesario para describir un modelo adecuado de composición invasiva utilizando únicamente construcciones exactas. Este enfoque se basa en explotar las analogías y similitudes entre los aspectos y los modelos de roles, y utiliza el soporte definido para estos últimos en la nueva versión de UML, que se basa a su vez en la mayor novedad del mismo, su soporte arquitectónico.

## **2. El Paradigma de la Orientación a Aspectos**

La expresión *orientación a aspectos* se utiliza en un sentido genérico y otro específico. En el segundo, describe a una tecnología concreta, la llamada “programación orientada a aspectos”, ligada a ciertas propuestas y al concepto de *aspecto* [14] [18][20]. En el primero, sin embargo, hace referencia a un enfoque integral de desarrollo, el “desarrollo de software orientado a aspectos”, que partiendo de un principio genérico llega a definir propuestas muy diversas, incluyendo a la anterior, que aquí recibe el nombre de *modelo de intercepción de puntos de unión* (o *join point interception*, JPI).

La consecuencia última del principio original (la separación de asuntos) es la ruptura de las fronteras modulares clásicas, de modo que la novedad de este enfoque “aspectual” se concreta en la definición de una nueva dimensión de modularidad; de entre los muchos nombres que ha recibido, el de *composición invasiva* [2] es probablemente el que más claramente alude a su naturaleza, por lo que en adelante se usará con preferencia.

### **2.1. El Principio de Separación de Asuntos**

Todo el enfoque se basa en un principio clásico de Ingeniería de Software, el *principio de separación de asuntos*. En este contexto, se denomina *asunto* (*concern*) a cada uno de los detalles de los que tiene que ocuparse un sistema software, entendido en términos generales (incluido, por ejemplo, un diseño). Aunque “interés” sería probablemente una traducción

más ajustada, no tiene la connotación modular que sí expresa “asunto”, por lo que se ha preferido este último.

El término se remonta a pioneros como Dijkstra o Parnas, y de hecho es la justificación clásica que se utilizó para defender los principios de la programación modular hace más de tres décadas. En resumen, se trata de que cada asunto sea considerado por separado, en un módulo independiente. Sin embargo, parece claro que la modularidad clásica no proporciona un soporte adecuado, ya que todavía hoy no hay una correspondencia entre módulos y asuntos que permita una separación real.

Los inconvenientes de una mala separación de asuntos suelen explicarse en términos de dos propiedades, denominadas *enmarañamiento (tangling)* y *dispersión (scattering)*. Se dice que un asunto está *disperso* cuando queda distribuido en múltiples módulos, y se dice que un módulo está *enmarañado* cuando mezcla múltiples asuntos. Aunque resulta sencillo hablar de estas propiedades en términos cualitativos, hacerlo de manera precisa no es trivial. Un reciente trabajo de Conejero *et al.* [5] presenta un marco formal que no sólo proporciona esta definición precisa, sino que también permite definir y comparar modelos de métricas aspectuales. Entre otros detalles, se expone que incluso la noción de *entrecruzamiento (crosscutting)*, fundamental para el modelo y que se desarrolla más adelante, resulta confusa, hasta el punto de demostrar que la conocida definición de Masuhara *et al* [17], que la presenta como la intersección simétrica de enmarañamiento y dispersión, no es la más general, sino que se subsume en otra definición más intuitiva, en la que se requiere que los módulos estén enmarañados, pero sólo es necesario que uno de los asuntos implicados esté además disperso.

En cualquier caso, cuando no existe una correspondencia uno a uno (1:1) entre asuntos y módulos, la complejidad del desarrollo crece exponencialmente. El enfoque clásico se ha centrado en la dimensión funcional, por lo que los módulos se distribuyen de acuerdo con este asunto, pero de modo inadecuado para otros, en particular para los aspectos no funcionales: seguridad, distribución, persistencia, etc. El objetivo último de los modelos aspectuales es mejorar el soporte para la modularización de todos ellos. Pero dado que las fronteras modulares de distintos asuntos no encajan, es preciso que su combinación sea capaz de superarlas: en definitiva, que su composición sea *invasiva*.

## 2.2. Modelo Asimétrico vs. Modelo Simétrico

El enfoque inicial se basó, entonces, en crear una estructura modular tradicional, esto es, funcional, como esqueleto de partida. A continuación se consideran los demás asuntos, para los que se construyen módulos específicos. Algunos pueden introducirse en el esquema sin problemas; no obstante, cuando se hace necesario alterar alguno de los existentes (hay enmarañamiento), o simultáneamente se afecta a varios (hay dispersión), se dice que el asunto es *transversal* (*crosscutting*). Es necesario entonces distribuirlo por todo el esquema inicial, combinándolo con sus módulos, rompiendo sus fronteras.

El enfoque inicial y más conocido [14] define entonces los *aspectos* como los módulos que se superponen a los tradicionales, que siguen siendo los objetos. Los aspectos son definiciones parciales, concebidos como extensiones, y se utilizan especialmente para tratar cuestiones no funcionales.

No obstante, varios autores, comenzando por Harrison [11] argumentan que ese enfoque *asimétrico* es inadecuado; una vez que se ha demostrado que el soporte clásico resulta insuficiente, no tiene sentido “complementar” el esquema funcional con un conjunto de extensiones o “parches”. En su lugar, proponen que todos los asuntos se consideren por separado, y se describa para cada uno un esquema completo. Después, usando técnicas similares a las del enfoque asimétrico, estos esquemas ortogonales se combinan a partir de sus puntos comunes, en un enfoque *simétrico*. Suele considerarse a éste más general desde un punto de vista teórico, y resulta conceptualmente más simple; no obstante, los enfoques asimétricos son más populares en la práctica.

La distinción entre modelos asimétricos y simétricos de aspectos no resulta esencial para la comprensión de este artículo, por lo que no se profundizará más en estos detalles. Dos comentarios son relevantes, no obstante. En primer lugar, que aunque el enfoque simétrico es más general, en realidad ambos son básicamente equivalentes, si se usan con la disciplina adecuada; y en segundo lugar, que el enfoque final que aquí se propone es esencialmente simétrico, si bien se construye sobre una base funcional (la de UML), por lo que también es fácil verlo desde un punto de vista asimétrico.

### 2.3. Hipótesis de Interacción y Composición Invasiva

A la hora de implementar la composición invasiva, todos los modelos existentes han adoptado una solución similar, aunque difieren en sus detalles. No se pueden crear las barreras modulares aleatoriamente, ya que éstas vienen dadas por la forma en la que se estructura el problema; los módulos vienen definidos por los propios conceptos, tanto en un enfoque simétrico como en uno asimétrico.

Dado que no se pueden eliminar estas barreras, la única forma de superarlas es basarse en el espacio que existe “entre ellas”, es decir, en la *interacción* entre los módulos.

En efecto, la mayoría de los enfoques se basan en la idea de *interceptar* la interacción entre dos módulos, y en este punto alterar la comunicación entre ellos para modificar, complementar, añadir o suprimir el comportamiento del modo adecuado. Por ejemplo, para hacer que un módulo sea seguro, basta con encapsular sus interacciones usando un mecanismo de *tunneling*; igualmente, para proporcionar persistencia, basta con capturar sus interacciones y serializar los datos requeridos en algún almacén.

Esta idea se encarna en la llamada Hipótesis de Interacción, que se enuncia simplemente como: “En todo sistema, se puede introducir un nuevo aspecto mediante la intercepción de la interacción entre sus módulos”. Enunciada de manera expresa por Pawlak [20], se puede considerar implícita en el campo incluso con anterioridad.

Por todo ello, la descripción de la orientación a aspectos como “composición invasiva” ayuda, de hecho, a entender el enfoque mucho mejor. No se trata de tener “aspectos” como un nuevo tipo de módulo. Lo que se necesita es disponer de un nuevo tipo de relación, un nuevo tipo de composición. Esto es, un esquema capaz de considerar la interacción de los módulos, e intervenir en ella; en el que todo módulo pueda hablar con cualquier otro, sin que le afecten las barreras de la modularidad. Por el contrario, los módulos habrán de construirse teniendo en cuenta esta interacción, para disponer de la máxima flexibilidad sin perder ninguna de las ventajas tradicionales. En definitiva, se trata simplemente de una nueva dimensión de modularidad [20].

### 3. Aspectos desde otra Perspectiva

Muchos de los intentos de modelar aspectos a nivel de diseño, y en particular en UML, han partido de la errónea suposición de que era necesario replicar el más conocido de los

modelos de implementación, esto es, el esquema JPI de AspectJ [14]. Sin embargo, existe toda una serie de propuestas basadas en otros enfoques, en algunos casos similares entre sí, que resultan probablemente más apropiados para el diseño. Entre ellos se puede mencionar a las vistas y perspectivas arquitectónicas; los componentes y colaboraciones aspectuales de Lieberherr [16][18]; los aspectos arquitectónicos, sea como *chevrons* [7] o *prismas* [21]; las múltiples dimensiones de Harrison [11], los patrones de composición de Clarke [4], la superposición de Katz [13] o los modelos de roles [8][10]. En todos ellos se plantea una perspectiva de la hipótesis de interacción que se basa en modelar ésta por separado, para combinarla después.

Los *modelos de roles* resultan especialmente interesantes, puesto que, aunque por otros motivos, fueron incorporados a UML, recibiendo un soporte que ha evolucionado de manera radical en las versiones más recientes del lenguaje. Dado que el propósito del artículo es introducir aspectos sin extensiones, y teniendo en cuenta la relación existente entre ambos enfoques, se partirá del estudio del soporte para roles, para plantear más adelante su posible redefinición y reutilización en el contexto de aspectos.

### **3.1. El Paradigma de Modelos de Roles**

Los *modelos de roles* aparecieron en la segunda generación de metodologías orientadas a objetos, aunque por su naturaleza pueden concebirse de manera independiente a este paradigma. Su objetivo es facilitar el modelado de comportamiento, tratado con cierta dificultad en las metodologías inspiradas en el modelado conceptual. En este enfoque, el elemento central es la *interacción* entre objetos, como unidad básica de comportamiento del sistema; en lugar de modelar la funcionalidad abstracta de cada clase por separado, se pretende modelar globalmente cada uno de los comportamientos requeridos para que el sistema realice su actividad; y a partir de estos modelos se deduce con posterioridad la participación de cada objeto o clase en la funcionalidad global. Además de sus obvias ventajas, se suele considerar notable a esta aproximación por su facilidad para acomodar la evolución dinámica de comportamientos.

Existen varias propuestas diferentes para los modelos de roles, si bien son todas ellas más o menos equivalentes. Destacan especialmente las de Kristensen [15] y Reenskaug, ligada al método OOram [22]. La descripción de este apartado se inspira en esta última, ya que su influencia en UML ha sido la más significativa.

La construcción fundamental del modelo de roles es la *interacción*; la idea es que toda la funcionalidad del sistema se desarrolla como un proceso compartido, que implica a varios de sus elementos; y por tanto el comportamiento no se ubica en *uno* de ellos, sino en la *colaboración* entre todos los *participantes* en este proceso. Desde esta perspectiva, cada interacción se modela por separado; el comportamiento global del sistema viene dado por la combinación de todas ellas.

Cuando se describe una interacción, la parte de comportamiento asociada a cada elemento individual se asigna a una entidad llamada *rol*. Ha de tenerse en cuenta que en una primera etapa, estos roles no se identifican ni con objetos ni con clases; ésa será una etapa de *asignación de responsabilidades* posterior en el método. Asimismo, la correspondencia no tendrá que ser necesariamente uno a uno; por ejemplo, varios roles podrán eventualmente asignarse a (es decir, fusionarse en) un mismo objeto.

Un *rol* es, por tanto, un fragmento de comportamiento, en principio sin identidad propia, que representa la participación de un elemento o actor abstracto en una interacción dada. Por supuesto, la complejidad de este comportamiento puede ser tal que se identifique una estructura (externa u observable) para este rol; como mínimo, ha de ser capaz de responder a ciertos mensajes (identificados con operaciones), y ha de ser capaz de emitir o recibir determinados datos (se almacenen o no como atributos). Y, en especial, ha de ser capaz de comunicarse y formar parte de un protocolo potencialmente complejo; es por esto por lo que, necesariamente, define una *interfaz*.

Así pues, un rol define al menos una parte dinámica, que describe su comportamiento observable, y una parte estática, que define una interfaz. Ambas se corresponden, en términos generales, con dos de las vistas definidas en OOram: la vista de *escenario* y la vista de *colaboración*. Como se describe en el apartado siguiente, hay un claro parecido entre estas vistas y los diagramas de secuencia y colaboración de UML 1.x, en especial con los primeros; pero la relación no es tan directa en el segundo caso.

El modelo de Reenskaug es particularmente notable por el hecho de que en él la interfaz se segmenta en puntos de interacción claramente definidos, a los que se denomina *puertos*. Cada rol del modelo se conecta con otro rol al crear un enlace con uno de sus puertos, esto es, con un punto de interacción bien conocido, capaz de *recibir* mensajes; no hay puertos asociados a la emisión. La actividad de un rol siempre se produce en respuesta

a la recepción de un mensaje en uno de sus puertos. En OOram también es posible “invocar” simultáneamente a varios roles a la vez, a través de un único puerto compartido. Esta característica se ha transferido también a UML en la forma de los *multiobjetos* de los dos diagramas de interacción; pero no se entrará en más detalles al respecto, dado que este elemento es perfectamente conocido.

En resumen: un *modelo de roles* describe el comportamiento de una parte del sistema como la colaboración (un protocolo de interacción) entre varios *roles* o participantes, que se conectan entre sí a través de *enlaces* entre los *puertos* en los que se divide su interfaz. Los detalles concretos del protocolo se describen como un escenario, esto es, como algo muy similar a un diagrama de secuencia convencional. Es obvio el parecido de este esquema con las nociones de la arquitectura de software; la sintaxis del modelo de roles, en especial en la formulación de Reenskaug, tiene claros paralelismos con los elementos de un Lenguaje de Descripción de Arquitectura (ADL).

Como ya se ha dicho, la similitud no es estrictamente sintáctica, por lo que se puede aplicar igualmente a otras presentaciones de los modelos de roles; en algunos sentidos, éstas son complementarias. Por ejemplo, la versión de Kristensen [15] no usa puertos de manera explícita, pero en cambio identifica *tipos de rol* (*role types*), un concepto más abstracto, que permite *clasificar* roles similares y desarrollar mejor su claro paralelismo con una instancia, facilitando, de hecho, la comprensión del modelo.

También hay una obvia conexión entre estos roles, descritos como la participación de una entidad en un comportamiento común, y los *sujetos* de Harrison [11], descritos como el punto de vista que tiene una entidad de un contexto compartido, y que son uno de los precedentes más conocidos de los aspectos. No se entrará en más detalles sobre esta relación, ya que ha sido explorada por varios autores [8], y no afecta directamente a la argumentación de este artículo.

### **3.2. Colaboraciones UML (1.1) vs. Modelos de Roles**

El concepto de *colaboración*, ahora considerado esencial al lenguaje, fue incorporado a UML de manera tardía, durante su transición a la versión 1.1, y debido en gran parte a la influencia de métodos como Catalysis y el citado OOram. El objetivo que se perseguía con su incorporación era aclarar el papel, siempre confuso, de los casos de uso. Aunque el método de Jacobson dejaba claro que los escenarios instanciaban casos de uso, y que el

comportamiento del sistema se deducía a partir de estos escenarios, la semántica final no estaba definida. En definitiva, los escenarios especifican el comportamiento externo, mientras que los diagramas de interacción describen el comportamiento interno. Pero esto cambia al introducirse la noción de colaboración como unidad del comportamiento interno, y definir su relación con el caso de uso. Se abre la puerta, además, a utilizarla como la base de una metodología de segunda generación, como las mencionadas en el apartado anterior, en el que el modelado se centra en la interacción.

En resumen, todo *caso de uso* identificado en la especificación de un sistema se realiza como una *colaboración*, tanto a nivel de análisis como luego a nivel de diseño. Al igual que un caso de uso se concibe como un patrón común que se instancia como un conjunto de *escenarios* concretos, una colaboración se entiende como un patrón (estructural) común a un conjunto de *interacciones* de objetos, entendidas también como ocurrencias de esa colaboración, y que se expresan con los *diagramas de interacción* de UML (esto es, los diagramas de secuencia y los antiguos diagramas de colaboración, renombrados en UML 2.0 como “diagramas de comunicación”). Así pues, los diagramas de interacción (que involucran a objetos, esto es, a instancias), describen *instancias* de una colaboración, y por tanto se corresponden con un escenario, que es a su vez una instancia del caso de uso *realizado* por esa colaboración.

Partiendo de este esquema, a menudo se entiende que una colaboración consiste en un conjunto de clases y algunas de sus asociaciones. Esto es, se consideran todas las interacciones que son instancia de la colaboración; en éstas, se toman todos los objetos implicados, y se reúnen todas las clases de las que a su vez son instancia. El conjunto de clases resultante queda unido por varias asociaciones, que a su vez se corresponden con los mensajes enviados (los enlaces utilizados) en las respectivas interacciones.

Pero en realidad esto no tiene por qué ser así. Los elementos de una colaboración no tienen por qué ser clases, como no lo son, por ejemplo, en Catalysis. En realidad sólo se requiere que sean *clasificadores*, esto es, elementos instanciables, como lo son tanto la propia colaboración como el caso de uso.

Así pues, en UML 1.1, concretamente en su especificación semántica, se incorporaron, junto a la propia colaboración, varios elementos adicionales. Éstos iban a permitir no sólo usarla para definir la realización, sino además expresarla como un *modelo*

*de roles*, siguiendo las pautas de la *vista de colaboración* de OOram (e, implícitamente, también la de escenario, si bien en este caso no se requerían cambios adicionales). El propio UML proporcionaba ya la mayoría de la estructura; por lo que fue necesario añadir muy pocos elementos. Se puede reducir la lista a tres, de los cuales uno es el concepto central y el resto son las abstracciones de soporte.

El primer elemento es el *clasificador-rol* (*ClassifierRole*), y tiene la misma función que se ha descrito para un rol en el apartado anterior, esto es, encapsular el comportamiento correspondiente a uno de los participantes en una interacción, sin identificarlo todavía con un objeto o clase. Junto a éste se incorporan la *asociación-rol* (*AssociationRole*), que se asimila como un enlace entre roles, y más adelante (en una versión tan posterior como la 1.4) el *extremo-de-asociación-rol* (*AssociationEndRole*), que se puede entender como equivalente a un puerto del modelo de Reenskaug; su función precisa es servir de soporte para ubicar toda la información asociada a la conexión de un rol.

A primera vista, se tiene una identificación directa con los elementos ya descritos del modelo de roles. Desde ese punto de vista, una colaboración se describe como la estructura de interacción formada por un conjunto de clasificadores-rol, conectados entre sí mediante asociaciones-rol, y utilizando los extremos correspondientes para ubicar con claridad esas conexiones. Teóricamente, pues, se podría realizar un caso de uso como una colaboración, y describir ésta como un modelo de roles especificado con estos elementos. Una vez realizadas todas las colaboraciones de este modo, se tendría que decidir cómo se solapan los roles entre sí, para definir la correspondencia con las clases del diagrama de clases. De este modo, se había comenzado el modelado con un método de segunda generación, para terminar con un modelo conceptual completo, que se desarrollaría de la manera habitual en UML (de primera generación).

Ahora bien, hay una inconsistencia en este modelo; y es que en realidad se están usando varios elementos como ellos mismos y *sus propias instancias*. Los roles del modelo de Reenskaug son *instancias*, al nivel de un objeto; sus enlaces son similares a los de los objetos, y se envían los mismos mensajes que los objetos. Esto es coherente con la semántica del diagrama de colaboración, en el que lo que se describe es una interacción de objetos, esto es, una *instancia* de una colaboración. La primera mitad del método, por tanto, asume que los roles y sus interacciones están al nivel de instancia. En cambio, la segunda

mitad del método, en la que se produce la correspondencia conceptual y la fusión de los roles en clases, asume que los modelos están al nivel de clases.

Sin embargo, tanto la semántica como el metamodelo eran claros: el clasificador-rol, la asociación-rol, e incluso la colaboración son todos ellos *clasificadores*, situados en el mismo nivel que la *clase* y el propio caso de uso. En realidad, el esquema resultante es perfectamente consistente dentro del propio UML; de hecho, el único detalle confuso es la definición del papel del diagrama de colaboración. Las restantes dudas se refieren a la correspondencia con los modelos de roles de OOram que, en todo caso, son parte de una especificación ajena al lenguaje.

El uso de estos elementos es, por tanto, ligeramente diferente. En resumen, el método consiste ahora en realizar un caso de uso como una colaboración, que se define como un clasificador. Cada instancia de esta colaboración es una interacción, que se corresponde con un escenario de un caso de uso. Esta interacción se desarrolla mediante el diagrama correspondiente (de secuencia o de colaboración), de modo que cada participante en el protocolo se identifica como un “rol”, esto es, una instancia de un clasificador-rol. Estos “roles” (que nunca fueron definidos en el metamodelo de UML 1.x) se comunican entre sí igual que los objetos, mediante el paso de mensaje a través de enlaces. Estos enlaces, sin embargo, serán instancias de asociaciones-rol, no de asociaciones estándar, ya que éstas tan sólo se pueden usar para relacionar clases. A partir de todas las interacciones y escenarios, se puede abstraer ya la estructura de una colaboración, como un conjunto de clasificadores-rol conectados entre sí mediante asociaciones-rol; los primeros clasifican a los “roles” descritos, y los segundos se corresponden con sus enlaces; a partir de los mensajes se deduce además el conjunto de operaciones de cada clasificador-rol. No está claro el diagrama en el que se muestran estos elementos, pero puede asumirse como un fragmento del diagrama de clases. Posteriormente, para terminar, bastará con combinar estos clasificadores-rol, unificando nombres y eliminando redundancias, para obtener como resultado las clases que conformarán el modelo conceptual.

El clasificador-rol, pues, se corresponde con el *tipo-de-rol* de Kristensen, más que con el rol de Reenskaug, que se correspondería por tanto con su instancia. La falta de una definición explícita de este rol-instancia (implícito en todo caso, ya que *ClassifierRole*

especializa a *Classifier*) está en el origen de diversos malos usos de este modelo, y en particular del diagrama de colaboración.

La confusión terminológica también aumenta la complejidad en este caso: los escenarios de UML no son los de OOram; e incluso las colaboraciones, más similares, no son las mismas, ya que tienen más bien el papel de sus clasificadores; a esto hay que sumarle la confusión respecto al nombre de diagrama de colaboración, que parece seguir más a OOram que al propio UML. Puede afirmarse que, en buena medida, la confusión conceptual respecto a los modelos de roles en UML se derivaba, en realidad, de estas simples confusiones terminológicas.

En cualquier caso, y en resumen, en UML 1.x se incorporaron todos los conceptos necesarios para soportar el modelado de roles; bastaba con definirlos al nivel de clases y desarrollar la interacción entre sus instancias para tener, dentro del lenguaje unificado, algo muy similar al método de OOram.

### **3.3. Transición de los Modelos de Roles en UML (de 1.1 a 2.1)**

Los modelos de roles se hicieron (relativamente) populares en UML durante el primer lustro de la presente década, cuando la especificación de referencia evolucionaba entre las versiones 1.1 y 1.4, mientras el lenguaje comenzaba a estabilizarse. Probablemente la causa fue la confusión existente respecto a la realización de los casos de uso en la forma de colaboraciones. No obstante, una vez conocidos, los modelos de roles se revelaron como un método flexible y adaptable para modelar el comportamiento de un modo coherente con el modelado conceptual, compatible además con la evolución del sistema. Su importancia fue creciendo y su uso extendiéndose, hasta el punto de que se esperaba que su importancia en UML creciera en la nueva versión 2.0.

No obstante, esto no fue lo que ocurrió. Por lo contrario, y de un modo casi sorpresivo, los elementos que se habían introducido para soportar modelado de roles desaparecieron de la especificación de UML 2.0. No existe ninguno de estos conceptos en la versión actual: ni el clasificador-rol, ni la asociación-rol, ni ningún concepto equivalente.

La especificación actualmente vigente de UML, concretamente la versión 2.1.2 de la Superestructura [19], dice literalmente: “*El concepto de clasificador-rol es subsumido por un elemento conectable utilizado dentro de una colaboración*”. Es decir, se ha pasado de disponer del concepto de rol como una abstracción propia, un elemento del metamodelo, a

verlo simplemente como un elemento estructural derivado, algo que se obtiene *indirectamente* a partir de la propia arquitectura de modelado. Esta es una transición que dista de ser trivial, ya que su alcance es enorme; y sin embargo, no era una decisión fácilmente previsible.

El verdadero motivo de esta transición hay que encontrarlo en la asimilación, por parte de UML 2.0, de una filosofía de diseño completamente nueva y ajena a la anterior, que ha dado en ser conocida como el modelo de “*partes-y-puertos*” (*parts-and-ports*). Este modelo resume la incorporación en UML de un conjunto de abstracciones básicamente compositivas, que proceden en su gran mayoría de otro estándar: SDL [12].

El motivo resulta evidente: el Proceso Unificado, que se describe a sí mismo como *centrado en la arquitectura*, se basa en la adopción de un lenguaje estándar (UML) que era, de hecho, especialmente inadecuado para la descripción de arquitecturas software, cuando éstas se definen formalmente. Aunque su estructura de múltiples vistas (4+1), encarnada en sus siete diagramas, tenía el potencial adecuado para la especificación de vistas *arquitectónicas*, la estructura conceptual del lenguaje nunca tuvo el nivel de abstracción necesario. UML siempre fue especialmente inadecuado para la descripción de jerarquías de composición, una de las (dos) dimensiones esenciales en la arquitectura de software. Para superar esta limitación, el lenguaje tenía que incorporar un conjunto de conceptos interrelacionados; y éstos se podían tomar de múltiples fuentes. Durante el proceso de estandarización de UML 2.0 se tomó la decisión de basar esta extensión en un estándar ya existente, del que de hecho ya se habían tomado muchos elementos en versiones anteriores de UML: el propio SDL (y otro estándar relacionado, MSC, del que no se hablará aquí por motivos de espacio, pero que proporciona el soporte para los cambios que, por coherencia conceptual, se han tenido que realizar en el lenguaje a nivel de comportamiento, en especial en los diagramas de secuencia). SDL proporciona estructuras jerárquicas, composición de instancias, elementos de conexión (conectores) y, en definitiva, todo lo necesario para soportar la descripción de arquitecturas, con un nivel de detalle muy superior al existente anteriormente. Este enfoque, conocido como el modelo de “*partes-y-puertos*”, ha sido adoptado plenamente en UML 2.0. Ahora bien, la incorporación de este esquema no implica solamente que se dispone de un diagrama o una notación más; por el contrario,

afecta a directamente a conceptos básicos de UML, como los de objeto y clasificador (o clase), y tiene consecuencias en diversos aspectos de la semántica general del lenguaje.

También, en el tema objeto de este artículo. El comentario citado más arriba muestra claramente que el estándar ha decidido adoptar un enfoque de diseño que *no* se basa en los modelos de roles. Pero esto no significa que UML2 haya rechazado el uso de los modelos de roles; de hecho, el lenguaje los soporta con mayor claridad y flexibilidad que antes. Lo que ocurre es que han pasado a ser un concepto *derivado*, ya que al introducir todos los mecanismos para la especificación de estructuras compuestas, en especial los conceptos de *parte* y conector, automáticamente se han introducido todos los elementos necesarios para describir un modelo de roles. Lógicamente, en lugar de mantener un conjunto de conceptos específicos que ahora resultaban redundantes, se ha preferido redefinirlos en función de los nuevos elementos introducidos.

De hecho, el modelo anterior necesitaba claramente una revisión, ya que resultaba claramente confuso. En UML 1.x, el papel del clasificador-rol nunca quedó demasiado claro: por una parte era definido como un clasificador, pero por otra ocupaba el mismo lugar que una instancia en los diagramas de colaboración, lo que hacía confuso tanto al clasificador-rol como al propio diagrama (cuyo nombre era también claramente desafortunado). La propia semántica nunca definió explícitamente la relación entre este elemento (y los demás que lo acompañaban) y el resto del metamodelo.

La frase citada anteriormente es probablemente la declaración más explícita que existe del cambio de enfoque de la especificación; sin embargo, no resulta sencillo localizarla si no se sabe de antemano dónde está o, lo que es lo mismo, los motivos por los que se ha producido este cambio en la misma.

Se encuentra en el capítulo 9 (“*Composite Structures*”) de la Superestructura de UML, una parte de la especificación que se dedica a describir “composiciones de elementos interconectados, que representan a instancias en tiempo de ejecución que colaboran mediante enlaces de comunicación para lograr objetivos comunes” [19]. Se trata de una sección completamente nueva, que describe todos los conceptos “arquitectónicos” que no existían con anterioridad en el lenguaje, y que *no* se han introducido en un bloque único, de manera directa. Al contrario, este nuevo soporte para *estructuras compuestas* implica a elementos y abstracciones de *seis* paquetes distintos del metamodelo, y en particular de tres

de ellos: el de Puertos (*Ports*), el de Colaboraciones (*Collaborations*), y el de Estructuras Internas (*InternalStructures*). Este artículo se centra en especial de los relativos a este último, ya que el primero se limita a proporcionar la base para describir una conexión de comunicación (esencial para la definición de una estructura, pero que no resulta importante en sí mismo), y el segundo se dedica a expresar las consecuencias de estos cambios en el concepto de colaboración existente, y a desarrollar su relación con los elementos más habituales del modelo de objetos y clases.

No se entrará aquí en grandes detalles con respecto a los conceptos incorporados como parte del enfoque de partes-y-puertos, que ya han sido descritos en múltiples ocasiones, incluyendo trabajos previos como [23]. Baste reseñar que se introducen los conceptos de *conector*, como enlace de comunicación entre instancias, y *puerto*, como punto de interacción para el comportamiento de un clasificador; y conceptos de soporte de éstos, como el *clasificador encapsulado* (*EncapsulatedClassifier*), que es simplemente aquél que tiene puertos; el *elemento conectable* (*ConnectableElement*), definido para abstraer a cualquier instancia capaz ser conectada; o *extremo de conector* (*ConnectorEnd*), que expresa la conexión entre un conector y un elemento conectable.

Se modifica además el concepto de *propiedad*, de modo que además de asumir su matiz original de *atributo*, puede añadir los de *parte* y *puerto* e, indirectamente, el de *rol*. De hecho, en el metamodelo de UML 2.0 no existe el concepto de rol, pero tampoco existe el concepto de parte, y sin embargo es una adición fundamental. La *parte* no es más que una forma de representar una “propiedad” dentro de cierta estructura (precisamente, la compuesta). Pero es esta representación la que describe el enfoque de partes-y-puertos, y por ello supone una de las mayores adiciones de UML2.

Del mismo modo, se modifica también la definición de la *colaboración*, que deja de usar los conceptos de clasificador-rol y asociación-rol. En su lugar, le basta con usar el matiz de *rol* añadido a la redefinida propiedad. Este matiz no es más que un nombre: en la colaboración se llama *rol-de-colaboración* (*collaborationRole*), y en el clasificador estructurado se llamará simplemente *rol* (*role*). Pero en ambos casos no es más que una propiedad convencional, que (eso sí) tiene un tipo de elemento conectable. Lo único que hace la definición de “propiedad” al respecto es, precisamente, indicar que el antiguo rol ha sido eliminado, utilizando para ello la frase citada al principio.

En resumen, la colaboración en UML 2.1 es muy similar a la anterior, aunque con una semántica mucho más clara. Se define simplemente como un conjunto de elementos conectables (por tanto, *instancias*), que se denominan *roles-de-colaboración* desde su perspectiva; éstos son, además, sus únicas propiedades. Sin embargo, al ser conectables, estos roles estarán ligados mediante *conectores*, que no pertenecen propiamente a la colaboración, pero en todo caso relacionan entre sí a sus elementos. En definitiva, lo que se describe es un modelo de roles clásico, completamente isomorfo al descrito en la sección 0, y sin los conflictos semánticos de versiones anteriores. La propia definición indica explícitamente que “sólo se incorporan los aspectos de la realidad que se estimen necesarios (...) Así pues, detalles como la identidad o la clase precisa de las instancias participantes son suprimidos” [19].

Asumida esta base, tan sólo es necesario definir dos elementos más para tener descritos por completo tanto el esquema de partes-y-puertos como el propio modelo de roles; son, además, los que proporcionan más detalles al respecto. Se trata del *uso-de-colaboración* (*Collaborations::CollaborationUse*), que define en su interior, además, una relación de *ligadura de rol* (*role binding*), y el *clasificador estructurado* (*StructuredClassifier*), que se introduce para definir una estructura compuesta de partes-y-puertos, y se constituye así en el elemento fundamental del paquete *InternalStructures*; pero que es lo bastante versátil como para introducir también el matiz de rol, unificando ambos enfoques.

El más complejo de los dos es el clasificador estructurado, base de todo este enfoque. Se define como “cualquier clasificador cuyo comportamiento se puede describir, en todo o en parte, como la colaboración de las instancias que contiene o referencia” [19]. Tiene dos objetivos, similares y compatibles; en primer lugar, define la composición de partes, siendo la construcción básica del esquema de partes-y-puertos. En segundo lugar, da el soporte para utilizar roles en la composición. Esto es necesario no sólo para su uso en modelado, sino también para el propio esquema de partes.

Un clasificador estructurado tiene propiedades de dos tipos: *atributos* propios y *partes*, que se definen como las propiedades que posee por composición. Éstas son instancias (objetos) de otras clases, contenidas en el clasificador, que constituyen la base de una estructura compuesta. En principio, con esto sería suficiente: pero si bien esto permite

agregar instancias en una estructura, no permite indicar si éstas tienen un papel concreto dentro de la misma. Para ello se hace necesario definir estas partes como *roles*, esto es, referencias a estos papeles, que se corresponden directamente con las partes descritas. De hecho, el clasificador se compone sólo de atributos y roles (denotados como */role:*), siendo el concepto de parte, en realidad, derivado [19]. El rol es, además, un elemento conectable, por lo que se comunica con otros roles mediante conectores, y a través de puertos. En definitiva, la estructura compuesta se desarrolla como un modelo de roles completo, si bien su unión es conceptual, no funcional como en la colaboración. Más aún, a diferencia de lo dicho en éstas, el clasificador estructurado contiene (a través de una relación) a los conectores que interconectan a sus partes. Por tanto, el clasificador no sólo se compone de sus partes, sino que equivale a la estructura *completa*.

A primera vista, podría parecer que no hay nada de especial en esta incorporación; en definitiva, las relaciones de agregación y (muy especialmente) composición simple ya expresaban relaciones de composición jerárquica en UML. Sin embargo, existe una diferencia fundamental, que de hecho es el motivo por el que se introduce el esquema de partes-y-puertos: las citadas son relaciones *entre clases*, mientras que aquí se aclara el papel de las *instancias* dentro de la clase contenedora. Por definición, en la composición los elementos contenidos tienen un rol específico; pero antes de este esquema no era posible describir ese rol. Utilizando el ejemplo clásico, en UML 1.x era posible decir que una Bicicleta estaba compuesta de Ruedas, entre otras cosas; pero sólo desde UML2 se puede distinguir a la instancia de la rueda *delantera* de la de la rueda *trasera*. Más allá del cambio de notación, que es claramente más visual en la versión actual, ésta es la verdadera novedad del lenguaje, y la que le dota de nuevas capacidades.

Finalmente, el uso-de-colaboración se presenta como el concepto que encarna la esencia del nuevo modelo, ya que relaciona entre sí todas sus partes. Representa la aplicación del patrón [de comportamiento] descrito por una colaboración a una situación específica en la que se implica a clases o instancias específicas que se corresponden con los roles de la colaboración [19]. Es decir, es una estructura que toma los roles-de-colaboración e indica con qué instancias del modelo se corresponden, sin tener en cuenta las estructuras a las que éstos puedan pertenecer, ni ninguna otra consideración.

El uso-de-colaboración es una función de correspondencia que se define por extensión, esto es, enumerando a todos sus elementos. Toma una colaboración y recorre sus roles uno a uno, asignando a cada uno una *ligadura de rol*, esto es, una dependencia mediante la que cada rol se corresponde con una instancia existente (utilizando el nombre del rol, además, como nombre de la ligadura). De este modo, una instancia “real” ocupa el lugar ocupado por un rol en la colaboración, y así la funcionalidad implementada es realizada por un elemento concreto. Se ha de tener en cuenta, además, que la semántica permite explícitamente que varios roles distintos se correspondan con la misma instancia, de modo que se permite implícitamente su combinación.

Con todo lo dicho, el modo en que se desarrolla un modelo de roles en UML 2.1 resulta evidente, ya que todo elemento del esquema anterior se ha sido sustituido por otro con una semántica más precisa. Dada la relación entre las nociones de rol y aspecto, también es posible intuir una solución en este último marco conceptual.

#### **4. Aspectos en un Clasificador Estructurado**

A partir de todo lo expuesto con anterioridad, resulta relativamente sencillo plantear un modo de describir un esquema de composición invasiva (un “modelo de aspectos”) que tan sólo utilice construcciones de UML 2.1 “puro”, sin necesidad de definir *ninguna* extensión del lenguaje, ni siquiera en la forma de estereotipos. En resumen, basta con describir cada asunto por separado, como una (o varias) colaboraciones; cada uno de los roles será un *aspecto* de este modelo. Se aplica la correspondencia definida en un uso-de-colaboración (o varios) para identificar estos aspectos con instancias de clases. Estas clases pueden definirse de manera independiente (como aspectos *separados*), o usarse para definir *partes* dentro de un clasificador estructurado (siendo en este caso aspectos *integrados*). De hecho, a menudo se mantendrán ambas perspectivas. El mayor mérito de este enfoque es, precisamente, que hace explícitos a los conectores que enlazan a las partes de una estructura: es así uno de los pocos modelos en los que las relaciones entre aspectos se hacen explícitas, y no sólo en relación a uno *dominante*.

Concepto de Orientación a Aspectos	Modelo Dual de Composición Invasiva
Aspecto (Ocurrencia)	Rol de Colaboración / Rol (Instancia)
Aspecto (Tipo) / Clase-Aspecto	Elemento Conectable (Tipo)
Asunto ( <i>Concern</i> )	Colaboración
Corte Transversal ( <i>Crosscut</i> )	Colaboración
Punto de Unión ( <i>Join Point</i> )	Ligadura de Rol ( <i>Role Binding</i> )
Componente (Tipo)	Clasificador Estructurado
Componente Aspectual	Clasificador Estructurado (de Roles)
Colaboración Aspectual	Clasificador Estructurado (de Roles)
Superposición de Katz	Clasificador Estructurado (de Roles)
Conector (Aspectual)	Uso-de-Colaboración ( <i>CollaborationUse</i> )
Punto de Corte ( <i>Pointcut</i> )	Uso-de-Colaboración ( <i>CollaborationUse</i> )
Función de Fusión ( <i>Merge</i> )	Uso-de-Colaboración ( <i>CollaborationUse</i> )
Hiperfragmento ( <i>Hyperslice</i> )	Clasificador Estructurado (de Roles)
Hipermódulo	Clasificador Estructurado

Tabla 1: Correspondencia con otros Modelos de Aspectos

El modelo es obviamente simétrico, dado que el aspecto funcional no es dominante, si bien sigue siendo más fácil de describir en UML. Su naturaleza es esencialmente *dual*; esto es, se basa en *separar* la modularidad en *dos* estructuras: una de composición, dada por el clasificador estructurado, y una de interacción, expresada por la colaboración. Se desarrollan de manera ortogonal, para combinarse posteriormente. Esta dualidad es casi inevitable, ya que la misma definición de las estructuras compuestas en UML 2.1 tiene una estructura dual. Esto lo diferencia de los esquemas asimétricos, que se basan en aumentar o complementar *una* estructura; pero también de otros esquemas simétricos, que habitualmente se basan en utilizar una estructura unificada para todos los aspectos [21] o para cada aspecto [11].

Esta propuesta proporciona también un proceso para el modelado de aspectos; no se pretende en ningún caso modelarlos de manera aislada, sino como parte de un esquema global de comportamiento. En primer lugar, se parte de una separación de asuntos total; esto es, cada asunto (funcionalidad, persistencia, seguridad, etc.) se considera de manera independiente del resto. Así, cada asunto se modela como una colaboración o, más bien,

como un conjunto de colaboraciones. Cada una de éstas describe una función definida dentro de un asunto (un protocolo de seguridad, por ejemplo), que se desarrolla como un modelo de roles; se puede considerar similar a un corte transversal (*crosscut*), en el sentido de que todos los aspectos relativos a esta función, y sus relaciones, han de ser definidos. Los roles son instancias de elementos conectables, y como tales son tipados; estos tipos de rol se corresponden con los *role types* de los sistemas de Kristensen [15] o Katz [13], y son también los *aspectos*, a nivel de tipo o clase. Dado que la mayoría de los modelos de aspectos, como el JPI [14] tratan con los aspectos a este nivel, más que al nivel de instancia, esta correspondencia resulta significativa. En cualquier caso, estos tipos serían, a todos los efectos, definibles como clases convencionales.

En este punto, los aspectos/roles no tienen por qué corresponderse con clases completas, y pueden verse aún como elementos parciales. Es muy probable, además, que un mismo aspecto aparezca en más de una colaboración, incluso como la misma instancia, aunque no es necesario decidir esa identidad en este punto. No obstante, cuando esta relación es muy directa, puede considerarse conveniente “empaquetar” varios de estos roles en un clasificador estructurado, que también incluiría los conectores relevantes, así como otros que se pudieran definir. En definitiva, esta estructura de roles describe, básicamente, un “aspecto compuesto”. Resulta notable porque usa técnicas tradicionales de modularidad para agrupar elementos *aspectuales*, y en sí no es una técnica invasiva; tan sólo agrupa en base a un modelo conceptual. En todo caso, se puede considerar equivalente a los componentes aspectuales de Lieberherr [16] o Caesar [18]; más aún, no tiene por qué circunscribirse a un asunto concreto, por lo su naturaleza puede ser *transversal*. En tal caso, se corresponde con una colaboración aspectual de Lieberherr [16], un *hyperslice* de MDSoc [11], una superposición de Katz [13] o un *chevron* de Cuesta [7]. En todo caso, este elemento no es realmente necesario, y se define sólo si resulta conveniente. Por otra parte, esta etapa puede ser demasiado temprana para decidirlo, por lo que su definición podría demorarse, opcionalmente, incluso hasta el final del proceso.

En todo caso, el proceso de desarrollo transcurre ahora del modo habitual, en el que se identifican los principales elementos conceptuales, típicamente funcionales. Todos los roles descritos en todas las colaboraciones se corresponden, tanto a nivel de tipo como de instancia, con clases concretas. La correspondencia se desarrolla, obviamente, como un

uso-de-colaboración, que juega por tanto el papel de un *pointcut* o una función de *merge*, en que cada ligadura de rol es similar a un punto de unión.

Cada rol se define así como una clase definida para ser independiente, o como parte de una clase contenedora; así pues, se realiza el tejido de aspectos (*weaving*) incluso antes de llegar a la estructura final. Existen dos modos de plantear este tejido. El más sencillo es la correspondencia directa: los aspectos que sólo se corresponden con un elemento se definen simplemente como una clase; en cambio, cuando varios aspectos se relacionan con la misma clase destino, ésta se define como un *clasificador estructurado*, en el que los aspectos se presentan ahora como roles, es decir, *partes* conectables, que mantienen o crean los conectores necesarios. El otro enfoque es algo más complejo: se define una clase para cada rol/aspecto, y éstas se agrupan siguiendo tanto los enlaces ya existentes a nivel de interacción, como mediante fronteras modulares de naturaleza conceptual, a nivel de composición. En todo caso, esta segunda técnica tendrá que utilizarse para construir adecuadamente la jerarquía modular, en la que un clasificador estructurado puede definir las partes de otro contenedor aún mayor.

En este punto, el proceso concluye y toda la estructura se ha definido. Obsérvese que si se parte de la separación de asuntos resulta innecesario, como en todo modelo simétrico, plantearse si una estructura es transversal o no. La definición de *crosscutting* resulta así irrelevante, puesto que el modelo ya cubre las dos relaciones conceptuales básicas; en efecto, el modelo controla tanto el enmarañamiento como la dispersión, ya que dispone de una estructura específica para expresar la correspondencia de la que nacen: el uso-de-colaboración. Un módulo enmarañado es aquí simplemente un clasificador estructurado compuesto por varios roles/aspecto; un aspecto disperso no es más que un *tipo* que se instancia como varios roles desde un principio; cada una de estos roles se corresponde *uno a uno* con un clasificador de destino; por tanto, la complejidad que hacía necesario la composición invasiva ha desaparecido, controlada por las estructuras.

Por motivos de espacio no se realizará una comparación más detallada entre el modelo descrito y otros modelos de aspectos; las correspondencias conceptuales más destacadas se resumen en la Tabla 1. A partir de ésta, resulta fácil hacer la identificación entre esta propuesta y los modelos más conocidos, en particular el JPI de Kiczales *et al*

[14], la MDSoc de Harrison *et al* [11] o las colaboraciones aspectuales de Lieberherr *et al* [16], que resumen las características de muchas otras propuestas similares [18][20].

En resumen, utilizando la base de UML 2.0, este artículo propone desarrollar un *modelo dual de composición invasiva* basado en dos dimensiones de composición ortogonales; se trata por tanto de un modelo simétrico. La primera dimensión tiene una naturaleza arquitectónica (estructural), y utiliza el esquema de partes-y-puertos; tiene como pieza fundamental el clasificador estructurado. Describe un esquema modular jerárquico clásico, puramente compositivo. La segunda dimensión tiene una naturaleza interactiva (de comportamiento), y define un modelo de roles, en el que se tiene como pieza básica la colaboración. En éste la descomposición no es jerárquica, ni siquiera estrictamente conexas; la separación de asuntos no se basa en *dónde* se ubica una entidad, sino en *con quién* se comunica. Ninguna de las dos dimensiones prevalece sobre la otra; ambas se combinan simplemente según la correspondencia definida por los usos-de-colaboración, de igual modo que hacen los *puntos de corte (pointcuts)* en el modelo JPI [14] o las funciones de fusión (*merge*) en los *hipermódulos* del modelo MDSOC [11].

Precisamente es esto lo que hace que este modelo sea “orientado a aspectos”: en los modelos de composición clásicos, las fronteras de composición limitan el ámbito de la interacción; por eso se habla de asuntos *transversales* cuando se rompen estas fronteras con los modelos de orientación a aspectos (asimétricos). En un modelo de composición invasiva (simétrico), la interacción no queda limitada de este modo en la fase de diseño; simplemente, el modelo de comportamiento se desarrolla como sea necesario. Y sólo después, cuando ambos modelos se han completado, se plantea una correspondencia entre ambos, que únicamente dependerá de sus contenidos. No es el diseñador, sino el propio sistema, el que tendrá que conciliar entonces ambas perspectivas, siguiendo las pautas de esta correspondencia. Este proceso es el equivalente, en este modelo dual, del mecanismo de *tejido de aspectos* en otros esquemas orientados a aspectos.

Por motivos de espacio, no se desarrollan en este artículo los detalles relativos al comportamiento, esto es, al desarrollo del dinamismo dentro de la estructura descrita mediante los diagramas de interacción, y en especial mediante los ampliados diagramas de secuencia de UML 2.0, que reflejan tanto las necesidades del modelo jerárquico de partes-y-puertos como la influencia de MSC. El metamodelo incluye los conceptos de evento

(*InvocationActions::Trigger*) y acción de invocación (*InvocationAction*) para dar la semántica adecuada a los puertos; aun sin entrar en detalles, se usa del modo esperado por la intuición, y de manera consistente con las demás modificaciones.

Los efectos del modelo descrito sobre el comportamiento pueden deducirse fácilmente, y su compatibilidad con los requisitos habituales del paradigma orientado a aspectos, aplicado a nivel de objetos individuales, resulta obvia. Sin entrar en excesivos detalles, pueden considerarse tres de las situaciones más significativas. En primer lugar, el caso de una *introducción*, esto es, cuando considerar un nuevo asunto implica la adición de un nuevo elemento estructural. En realidad, aquí el modelo dual es más flexible que otras propuestas, ya que se puede delimitar la granularidad; aunque en todo caso el nuevo elemento es un rol, éste puede terminar resultando simplemente en un nuevo método (una nueva acción), o incluir además un nuevo puerto (y un nuevo evento); o en el caso más extremo, un nuevo elemento conectable (y sus conectores). El segundo caso es el de un *aspecto* no considerado, en el que se incorporase nuevo comportamiento que antes no era incluido; éste se reduce necesariamente o al caso anterior o al siguiente. El tercer caso es, por fin, aquél en el que se produce la *intercepción* de comportamiento ya existente con anterioridad. En éste se pueden introducir nuevos métodos (o acciones), aparte del interceptado; se alterará el protocolo (secuencia), necesariamente; y también, posiblemente, la asignación de puertos y/o conectores.

## **5. Conclusiones**

Como ha podido verse, el modelo dual de composición invasiva descrito en este artículo cumple las condiciones descritas en un principio. En efecto, todos los detalles relevantes en un modelo de aspectos pueden describirse con este enfoque, de modo que incluso se pueden combinar elementos procedentes de propuestas distintas; no existe ningún matiz que no se haya podido expresar, y en ningún caso la correspondencia conceptual resulta forzada. Por otra parte, sólo se han usado elementos estándar de UML 2.1. No ha sido necesario extender el metamodelo o proporcionar estereotipos. La única función que se podría dar a estas extensiones sería la de meros sinónimos: una hipotética metaclase o estereotipo *Aspecto* no sería más que otro nombre para *ConnectableElement*.

El modelo dual expuesto no contradice, en principio, a ninguna propuesta existente para la definición de aspectos. En primer lugar, la mayoría de ellas se definen a nivel de implementación, por lo que ésta podría ser una más que aceptable notación de diseño para la mayoría, si bien es cierto que no está diseñada para aprovechar las características más avanzadas de algunos modelos (como las *pointcut expressions* de AspectJ). Las que se definen también a nivel de diseño son generalmente compatibles; de hecho, estudiar sus correspondencias podría, probablemente, ayudar a aclarar su semántica. Finalmente, no se ha explorado en detalle su relación con otras propuestas complejas, y en principio compatibles; resulta interesante, en particular, plantear el papel que podría darse a los patrones de composición de Theme/UML [4].

Como única objeción, se podría argumentar que, si bien se describe la correspondencia y combinación de aspectos como roles, el modelo no proporciona un mecanismo para su combinación como clases parciales (o *mixins*), que tiene que ser indicada *a mano* por el propio diseñador. No obstante, ésta no es una objeción real: no todos los modelos hacen un *weaving* automático, y la mayoría se resuelve en tiempo de compilación, igualmente previo al despliegue final; en todo caso, éste es un modelo de *diseño*. En realidad, la esencia de los esquemas de aspectos no es un mecanismo de *weaving*, sino la función de correspondencia que éste implementa, y que se define como un uso-de-colaboración en esta propuesta. Dicho esto, no obstante, se ha de señalar que en todo caso podría usarse el mecanismo descrito por Ammour *et al* [1], basado en un *merge* de paquetes, para dar una solución en este sentido sin tener que modificar ningún detalle.

## **Agradecimientos**

Los autores han sido parcialmente financiados por la Dirección General de Universidades e Investigación de la Comunidad de Madrid y la Universidad Rey Juan Carlos dentro del Proyecto IASOMM (URJC-CM-2007-CET-1555). El trabajo ha sido también financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia, dentro de los Proyectos META/MoMent (TIN2006-15175-C05-01) del Plan Nacional de I+D+i y AT (CONSOLIDER CSD2007-00022), dentro del Programa INGENIO 2010.

## **Referencias**

- [1] Ammour, S, Desfray, P., “A Concern-Based Technique for Architecture Modelling Using the UML Package Merge”. *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*, vol. 163, pp. 7-18, Elsevier Science, 2006.
- [2] Aßmann, U. *Invasive Software Composition*. Springer, 2003.
- [3] Chavez, C., Lucena, C. A., “Metamodel for Aspect-Oriented Modeling” en *AOSD’02 Workshop on Aspect-Oriented Modeling with the UML*, 2002.
- [4] Clarke, S.; Walker, R.J., “Generic Aspect-Oriented Design with Theme/UML” en Filman, R., Elrad, T., Clarke, S., Aksit, M., *Aspect-Oriented Software Development*. Addison-Wesley, 2005, pp. 425-458.
- [5] Conejero, J.M.; Hernández, J.; Jurado, E.; van den Berg, K. *Crosscutting, What Is and What Is Not? A Formal Definition Based on a Crosscutting Pattern*. Technical Report TR28/07, Ed. Universidad de Extremadura, 2007.
- [6] Cuesta, C.E.; Romay, M.P.; de la Fuente, P.; Barrio-Solórzano, M., “Architectural Aspects of Architectural Aspects” en *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 3527, págs. 247-262, Springer, 2005.
- [7] Cuesta, C.E.; Romay, M.P.; de la Fuente, P.; Barrio-Solórzano, M.; Younessi, H. “Coordination in Architectural Connection: Reflective and Aspectual Introduction” en *L’Objet*, vol. 12, nº 1, pp. 127-151, Hérmes/Lavoisier, 2006.
- [8] Filman, R., Elrad, T., Clarke, S., Aksit, M., *Aspect-Oriented Software Development*. Addison-Wesley, 2005
- [9] Hanenberg, S., Unland, R., “Roles and Aspects: Similarities, Differences, and Synergetic Potential” en *Object-Oriented Information Systems (OOIS’02)*, pp. 87-94, Springer, 2002.
- [10] Hannemann, J., Murphy, G.C., Kiczales, G., “Role-based Refactoring of Crosscutting Concerns” en *Aspect-Oriented Software Development (AOSD’05)*, pp. 135-146, ACM Press, 2005.
- [11] Harrison, W.H., Ossher, H.L., Tarr, P.L. *Asymmetrically vs. Symmetrically Organized Paradigms for Software Composition*. IBM Research Report RC22685 (W0212-147), Thomas J. Watson Research Center, IBM, 2002.

- [12] ITU-T. *Specification and Description Language (SDL)*. ITU-T Recommendation Z-100, Agosto 2002.
- [13] Katz, S., “A Superimposition Control Construct for Distributed Systems”, *ACM Trans. on Programming Languages and Systems*, vol. 15, nº 2, pp. 337-356, 1993.
- [14] Kiczales, G.; Hilsdale, E.; Hugunin, J.; Kersten, M.; Palm, J.; Griswold, W.G., “An Overview of AspectJ”, en *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 2072, pp. 327-353, Springer, 2001.
- [15] Kristensen, B.B., “Object-Oriented Modeling with Roles” en *Object-Oriented Information Systems (OOIS'95)*, pp.. 57-71, Springer, 1996.
- [16] Lieberherr, K., Lorenz, D.H., Ovlinger, J., “Aspectual Collaborations: Combining Modules and Aspects”, *The Computer Journal*, vol. 46, nº 5, pp. 542-565, 2003.
- [17] Masuhara, H., Kiczales, G, “Modular Crosscutting in Aspect Oriented Mechanisms” en *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 2743, pp. 2-28, Springer, 2003.
- [18] Mezini, M.; Ostermann, K., “Conquering Aspects with Caesar” en *Second Intl. Conf. on Aspect-Oriented Software Development (AOSD'03)*, pp. 70-79, 2003.
- [19] OMG. *Unified Modeling Language (OMG UML) Superstructure, V2.1.2*, OMG Available Specification, Document formal/2007-11-02, 2007.
- [20] Pawlak, R., Retailié, J.-P., Seinturier, L., *Programmation Orientée Aspect pour Java/J2EE*. Ed. Eyrolles, 2004.
- [21] Pérez, J., Ali, N., Carsí, J., Ramos, I. Dynamic Evolution in Aspect-Oriented Architectural Models en *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 3527, 2005.
- [22] Reenskaug, T., Wold, P., Lehne, O.A., *Working with Objects: The OOram Software Engineering Method*. Manning Publications, 1995.
- [23] Romay, M.P., Cuesta, C.E., de la Fuente, P., Barrio Solórzano, M., “Descripción de Aspectos Mediante Conectores UML 2.0”, en *Avances en Desarrollo de Software Orientado a Aspectos*, pp. 57-64, Ed. Universidad de Extremadura, 2004.
- [24] Suzuki, J.; Yamamoto, Y. Extending UML with Aspects: Aspect Support in the Design Phase. En *Aspect-Oriented Programming (AOP-ECOOP'99)*, 1999.