

Universidad de las Ciencias Informáticas

Facultad 4



***El Repositorio de Objetos de Aprendizaje (RHODA)
como parte de una red federada.***

**Trabajo de Diploma para optar por el título de Ingeniero en Ciencias
Informáticas.**

Autor:

Pedro Gustavo Saez Vallejo

Tutores:

Ing. Roxana Cañizares González

Ing. Yandris Mata Cabrera

Ciudad de La Habana

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Declaro que soy el único autor del trabajo de diploma “El Repositorio de Objetos de Aprendizaje RHODA como parte de una red federada”, y autorizo a la facultad 4 de la Universidad de las Ciencias Informáticas a hacer uso del mismo en su beneficio.

Para que así conste se firma la presente a los ____ días del mes de ____ del año_____.

Autor

Pedro Gustavo Saez Vallejo

Tutor

Ing. Roxana Cañizares González

Tutor

Ing. Yandris Mata Cabrera

Agradecimientos:

Agradecer primero que todo a mis padres que son lo más grande que tengo, mi guía y los verdaderos responsables de que yo sea la persona que soy. Gracias al amor de mi vida (Mi mamá) y a mi ejemplo (Mi papá), los quiero mucho.

Gracias a toda mi familia que siempre han estado ahí para mí: Mi abuela Marina que me cuidó desde pequeño y me educó como un hombre de bien. A mis abuelos paternos Eulalia y Pedro. A mi tía Cuquita que aunque no se encuentre físicamente entre nosotros tengo que agradecerle muchísimo, al igual que mis tíos Fidel, Gerardo y Cuqui. A mis demás tíos: René, Tony, Camilo, Raúl, Berti. A mis primos que han sido como hermanos para mí y con los que he compartido toda mi vida: Alian, Lázaro, Fidelito, Rauli, Yoany, Julio, Gastón, Adalbero y Yadira. A los más pequeños Valia, Leyvi, Amanda y Marlon. A mis sobrinas y mi hermana que son muy especiales. A otros que aunque no son primos hermanos los quiero muchísimo también: Ernestico, Lislely y Ale.

A mi familia en esta escuela que ha sido en estos 5 años un capítulo importante en mi vida: Evelyn por ser mi mejor amiga todo este tiempo y por compartir conmigo momentos inolvidables, gracias por ser muy especial para mí. A mi hermanita Annia que se ha ganado mi cariño incondicional hacia ella solamente con ser mi verdadera amiga (y que si no lo fuese ella sabe...). A mi hermana del alma Dianamary que siempre ha sido una persona incondicional y sobre todo muy cariñosa, un verdadero amor de persona. A mi hermanito Pedro que siempre está ahí para lo que necesite, mi cómplice y mi compañero de armas. A mi hermanito Rogert que aunque no pudo realizar el sueño de ser ingeniero siempre va a estar presente para mí, por los buenos momentos que hemos compartido. A mi demás hermanitas Lily, Yanecita, Suli, Mora, Mile. A mi piquetón del Green Party que también los quiero un montón: Jorgito, Alfredo, Wicho, Bello, Papito, Daril, Pedrito, Earles, Alejandro, Eduardo, Noel, Ever, Pera, Eduar, Ernesto, Manuel.

A mi gente de la vieja guardia: Juan Carlos, Frank, Vega, Osvaldo, Norge, Lionel, Linito, Luis Daniel, Dayron, Javier, Yusel, El Chileno.

A mi familia que no se me puede quedar: Chispa, Mayra, La Mity, Ailen, Juan Manuel, Miriela, María Fernanda.

A mis tutores: Roxana por ser una persona exigente, principal responsable de la calidad de la tesis, un verdadero ejemplo de profesional. Muy exigente pero una buena persona. Yandris por dar su aporte incondicional a la tesis, muchas gracias a ambos.

Al tribunal (Leonardo, Jesús, Yolanda, Omar) por siempre dar su crítica constructiva que sin dudas es un aporte inmenso, por su profesionalidad, gracias.

Al oponente Reynier Cartaya por ser un ejemplo de profesional, por su ayuda y su aporte para la culminación del trabajo.

Gracias a todos siempre los voy a tener en cuenta.

Pedro Gustavo Saez Vallejo.

Resumen

Los Repositorios de Objetos de Aprendizaje constituyen sistemas que almacenan contenidos educativos de forma centralizada para su posterior uso. Dentro de sus funcionalidades principales está la búsqueda de Objetos de Aprendizaje, así como la interoperabilidad entre varios repositorios que permitan un mayor acceso a la información existente en la red. Esta interoperabilidad entre Repositorios de Objetos de Aprendizaje da lugar a las Federaciones de Repositorios de Objetos de Aprendizaje o Redes Federadas. Dentro de las redes federadas existentes se encuentran: AGREGA, ARIADNE, ELENA, entre otras.

El Repositorio de Objetos de Aprendizaje (RHODA) desarrollado en la Universidad de las Ciencias Informáticas no permite el acceso a los contenidos educativos almacenados en otros sistemas ni en instancias del propio sistema.

El presente trabajo de diploma tiene como objetivo definir una arquitectura que permita las búsquedas federadas en RHODA teniendo en cuenta los estándares (SQI, IMS-DRI), protocolos (OAI-PMH, HTTP, SOAP) y las tecnologías relacionadas con los servicios web (UDDI, WSDL, XML) para lograr la interoperabilidad entre repositorios.

Palabras claves

Arquitectura, búsqueda federada, estándares, Federación de Repositorio de Objetos de Aprendizaje, interoperabilidad, Objeto de Aprendizaje, Repositorio de Objetos de Aprendizaje, servicios web.

Índice

Introducción.....	1
CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	6
1.1. Estado del e-learning en la actualidad	6
1.2. Repositorios de Objetos de Aprendizaje	8
1.2.1. Objeto de Aprendizaje	8
1.2.2. Tipos y funciones de Repositorios de Objetos de Aprendizaje	10
1.3. Interoperabilidad	13
1.4. Repositorios federados	14
1.5. Búsqueda de contenidos en sistemas externos	16
1.6. Especificaciones y estándares del e-learning	18
1.7. Servicios web	29
1.8. Iniciativas de federaciones de sistemas e-learning	32
1.9. Arquitectura de software	38
CAPÍTULO 2: DESARROLLO DE LA PROPUESTA:.....	38
2.1. Vistas de Arquitectura de Tecnología	38
2.1.1. Entorno de desarrollo tecnológico:.....	38
2.1.2. Seguridad.....	40
2.2. Vistas de Arquitectura de Sistema	41
2.2.1. Paquetes o subsistemas principales de la solución	41
2.2.2. Servicios web en el subsistema de interoperabilidad	52
2.2.3. Requisitos generales del subsistema de Interoperabilidad	54
2.2.4. Datos.....	55

2.2.5. Estilos Arquitectónicos a emplear que contribuyen a la integración entre las soluciones...	55
2.2.6. Estándar de codificación	56
2.2.7. Pantallas definidas para la interoperabilidad	56
2.3. Infraestructura de Redes	59
2.4. Guía de autoevaluación de la arquitectura	59
Conclusiones Generales.....	65
Recomendaciones	66
Referencias bibliográficas.....	67
Bibliografía consultada.....	71
3. Anexos	¡Error! Marcador no definido.

Introducción

En la actualidad el mundo se encuentra regido por las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC), las cuales han provocado cambios en diferentes esferas de la sociedad. En la esfera de la educación estas tecnologías propician la gestión del material educativo a distancia y apoyan la enseñanza presencial. Este proceso se le conoce como Aprendizaje Electrónico (e-learning), el que se puede definir como *“...conjunto de tecnologías, aplicaciones y servicios orientados a facilitar la enseñanza y el aprendizaje a través de Internet/Intranet, que facilitan el acceso a la información y la comunicación con otros participantes”* (GALLEGO, 2011).

Un Repositorio Digital (RD) constituye una herramienta e-learning eficiente para la gestión de contenidos, este se define como el lugar donde se almacena y mantiene la información digital (López, 2005).

Un RD presenta varias clasificaciones según las características del contenido que almacena, destacando entre ellas el Repositorio de Objetos de Aprendizaje (ROA), conocido como “repositorio que almacena colecciones de OA y sus descripciones (metadatos) o solamente guarda la descripción de OA almacenados en otros sitios, para poder acceder a su ubicación” (Montilva , et al., 2010).

El contenido almacenado en un ROA es conocido como Objeto de Aprendizaje (OA), el cual se define como: “cualquier recurso con una intención formativa, compuesto de uno o varios elementos digitales, descrito con metadatos, que pueda ser utilizado y reutilizado dentro de un entorno e-learning” (López, 2005). Un OA presenta una descripción detallada de sí mismo llamada conjunto de metadatos, que le permite lograr un conjunto de características como la reusabilidad, accesibilidad e interoperabilidad, entre otras.

Existen diferentes clasificaciones para los ROA, una de ellas es la forma en que se concentran los recursos, donde se encuentran: repositorios que contienen los OA y sus metadatos y los que contienen sólo los metadatos. Otra de las clasificaciones es según la forma de organizar los catálogos de los metadatos, diferenciando dos modelos de ROA: centralizados y distribuidos (López, et al., 2006).

Un ROA debe desarrollar un conjunto de funciones que le permita acceder de manera segura a los OA que este contiene, entre las que destacan las búsquedas de dicho contenido. Además se debe asegurar la localización y reutilización de los OA a través de la catalogación, indexación y el empaquetado de los contenidos.

Para lograr la reutilización de los OA, los ROA deben contar con mecanismos de comunicación e interoperabilidad entre ellos, esta última característica es definida por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) por sus siglas en inglés, como la *“capacidad de dos o más sistemas o componentes para intercambiar la información y utilizarla”*.

Existen diferentes enfoques mediante los cuales los ROA establecen la interoperabilidad. En el enfoque federado, dichos sistemas operan de manera independiente para comunicarse entre sí. Esta forma de comunicación propicia la creación de Sistemas de Repositorios Federados o Federaciones, permitiendo así que un ROA pueda acceder a contenidos pertenecientes a otros repositorios mediante la recolección de metadatos y la búsqueda federada.

Para lograr la interoperabilidad entre ROA es necesario que su arquitectura esté basada en estándares. En la catalogación de los OA destacan los estándares: Metadatos de Objetos de Aprendizaje (LOM) por siglas en inglés, del IEEE, Dublin Core (DC) y la Especificación de Metadatos de Recursos de Aprendizaje del IMS¹ (IMS MD). Para el empaquetamiento de los OA se emplean: Modelo de Referencia de Objetos de Contenido Compatibles (SCORM) y el estándar para el Empaquetado de Contenidos del IMS (IMS CP). Para la recolección de metadatos se utiliza el Protocolo para la Recolección de Metadatos de la OAI² (OAI-PMH), mientras que para las búsquedas federadas se usa la Interfaz Simple de Consulta (SQI) por sus siglas en inglés. Entre los estándares relacionados con la arquitectura de un sistema destaca el estándar para la Interoperabilidad de Repositorios Digitales del IMS (IMS DRI).

Los servicios web constituyen una acertada opción para establecer la comunicación entre sistemas que presenten diferentes arquitecturas, ya que suponen nuevos mecanismos de intercambio de información. Son independientes de plataformas de desarrollo y lenguajes de programación de los sistemas que se comunican a través de ellos. Se pueden definir como *“una aplicación modular que se autodescribe, que puede ser publicada, localizada, invocada o usada desde cualquier parte de la web y que está basada en estándares abiertos como (Otón, 2006): Lenguaje de Marcas Extensible (XML) por sus siglas en inglés, Descripción, Descubrimiento e Integración Universal (UDDI) por sus siglas en inglés, Protocolo de Acceso a*

¹ Proyecto del Sistemas para la Gestión del Aprendizaje (IMS) por sus siglas en inglés.

² Iniciativa de Archivos Abiertos (OAI) por sus siglas en inglés.

Objetos Simples (SOAP) por sus siglas en inglés o el Idioma de Descripción de Servicios Web (WSDL) por sus siglas en inglés”.

Existen diferentes iniciativas que están trabajando en propuestas para la interoperabilidad entre repositorios, con la finalidad de formar redes de sistemas distribuidos que permitan búsquedas federadas.

A continuación se mencionan las iniciativas más conocidas, tanto de repositorios como de propuestas de redes interoperables: AGREGA, Alianza de Autoría Remota e Instruccional y Redes de Distribución para Europa (ARIADNE) por sus siglas en inglés, ELENA/Edutella (ELENA) y Repositorio de Objetos Educativos del Campus Alberta (CAREO) por sus siglas en inglés.

Todo sistema debe contar con una guía que contenga los elementos referentes a la estructura, funcionamiento e interacción entre las partes del software, a lo que se le conoce como Arquitectura del Software (AS) (Garlan, et al., 1994). Esta guía es la encargada de mostrar las vistas principales de los componentes de un software.

En el Centro “Tecnologías para la Formación” (FORTES) del “Departamento de Producción de Herramientas Educativas” de la Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI), se desarrolló el ROA (RHODA), el cual fue personalizado e implantado en la UCI. Este repositorio es el encargado de almacenar una colección de OA con vistas a la formación educativa, dando a profesores y alumnos un mayor acceso al conocimiento. Dicho repositorio se encuentra actualmente en la versión 2.0 y ofrece diversas funcionalidades entre las cuales destacan las búsquedas, tanto generales como avanzadas, la gestión de los OA con el estándar SCORM 2004, entre otras.

RHODA cuenta con un servidor que alberga todos los OA y sus metadatos. Intercambia información con sistemas gestores de contenidos educativos ubicados en la UCI como la Herramienta de Autor (CRODA) y el Sistema de Gestión de Aprendizaje (Moodle), a través del uso de los estándares IMS-DRI y SQL. A pesar de interactuar con estos sistemas, RHODA no permite un intercambio de información con otros ROA o federaciones de los mismos, impidiendo así una mayor reutilización y acceso al contenido existente en dichos sistemas, lo que obliga al repositorio en cuestión a contener todos los OA posibles para poder acceder a ellos, esto propicia una sobrecarga de información en el servidor del sistema. Este repositorio tampoco permite el acceso desde ningún sistema externo a los OA que almacena, lo que impide la reutilización de estos contenidos.

El ROA existente en la UCI no cuenta con la posibilidad de comunicarse con otras instancias de sí mismo para realizar búsquedas, lo que impide a centros que pudieran contar con este sistema, como las miniuci³, que puedan reutilizar el contenido educativo almacenado en RHODA, lo que permitiría que los profesores y estudiantes de estos centros cuenten con una mayor bibliografía.

Por lo antes expuesto se plantea como **problema de investigación** ¿Cómo realizar búsquedas federadas en RHODA para facilitar un mayor acceso a los contenidos educativos existentes en otros Repositorios de Objetos de Aprendizaje?

Teniendo como **objeto de estudio**: Las redes federadas.

Para el presente trabajo de investigación se plantea como **objetivo**: Definir la arquitectura que permita las búsquedas federadas en RHODA para facilitar un mayor acceso al contenido educativo existente en otros Repositorios de Objetos de Aprendizaje.

Este a su vez se enmarca en el **campo de acción**: Arquitectura de las redes federadas en Repositorios de Objetos de Aprendizaje.

Se tiene como **idea a defender**: Es posible un mayor acceso desde RHODA al contenido educativo existente en otros Repositorios de Objetos de Aprendizaje, a través de una arquitectura que permita búsquedas federadas.

En el transcurso del presente trabajo investigativo se llevarán a cabo las siguientes **tareas de investigación**:

- Estudio de las tecnologías relacionadas con la interoperabilidad entre Repositorios de Objetos de Aprendizaje.
- Selección de los estándares y herramientas que permitan la interoperabilidad entre sistemas e-learning.
- Análisis de las arquitecturas presentes en los Repositorios Federados.

³Constituyen dependencias de la Universidad de las Ciencias Informáticas ubicadas en varias zonas del país, son llamadas también facultades regionales, hasta el momento sólo existen 3 en el país.

- Selección de los componentes de las arquitecturas presentes en los Repositorios Federados.
- Definición de una arquitectura que le permita a RHODA formar parte de una red federada.

Los métodos científicos utilizados en este trabajo para la investigación se basan en una combinación de los métodos teóricos y empíricos.

Entre los métodos teóricos a desarrollar se encuentran el **Análisis Histórico - Lógico** para realizar un estudio del desarrollo de los Repositorios de Objetos a Aprendizaje, la interoperabilidad como característica de estos y las redes federadas que pueden llegar a formar. También está presente en esta investigación el método **Analítico - Sintético** puesto que es preciso analizar todos los elementos para extraer y relacionar solo los necesarios para conformar la arquitectura de la red federada. Otro método teórico que se incluye es el Método **Inductivo – Deductivo** debido a que es necesario analizar ejemplos de repositorios federados para comprender su arquitectura, además se puede ver cómo se aplican conocimientos generales sobre arquitecturas en cada uno de los repositorios analizados.

Como parte de los métodos empíricos se encuentra la **Modelación** para modelar la arquitectura de RHODA.

Este trabajo de diploma presenta un resumen del mismo, consta además de una introducción, dos capítulos, conclusiones generales, recomendaciones, bibliografía y anexos.

En el capítulo 1 “Fundamentación teórica” se realiza un estudio general del estado actual del e-learning. Se centra en el estudio de los RD, profundizando en los ROA y sus federaciones, y las iniciativas existentes. Se analizan además los estándares y los servicios web presentes en la arquitectura.

En el capítulo 2 “Desarrollo de la propuesta” se realiza la propuesta de la arquitectura para que RHODA forme parte de una red federada y pueda realizar búsquedas en otros ROA para lograr una mayor reutilización de los OA, destacando las funciones que debe cumplir dicha propuesta y los estándares y servicios utilizados para poder lograr la interoperabilidad.

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Introducción

En este capítulo se realiza un análisis del estado actual del e-learning, abordando los RD y destacando de estos los ROA y las funciones que realizan. Se describen las características principales de los OA como piezas imprescindibles a gestionar por los ROA y los metadatos que describen dichos objetos para lograr su localización y reutilización. Se analiza la interoperabilidad como una característica necesaria para lograr el intercambio de información entre diferentes sistemas, la cual da lugar a las federaciones de ROA, donde estos sistemas van a realizar el intercambio de información a través de estándares y servicios web. Se realiza un estudio de los tipos de búsqueda que permiten acceder a los contenidos ubicados en sistemas externos, destacando la recolección de metadatos y la búsqueda federada. Se investigan las principales iniciativas de ROA federados o federaciones de estos. Por último se indaga acerca de la arquitectura de software para brindar una estructura global de un ROA interoperable.

1.1. Estado del e-learning en la actualidad

En la actualidad se hace uso de las tecnologías para facilitar el proceso de enseñanza–aprendizaje. En todo el mundo se puede apreciar esta tendencia con el desarrollo de múltiples plataformas encargadas de la creación, distribución y reutilización de contenidos educativos. Existen países punteros en cuanto al desarrollo de dichos sistemas como Estados Unidos, el Reino Unido, Australia, Canadá, España, entre otros, los cuales han llevado a cabo iniciativas, como son los casos de AGREGA, ARIADNE, ELENA y CAREO, que constituyen una guía obligatoria para países que quieran insertarse en este campo.

La Internet se presenta como un paradigma que se ha hecho presente en cada esfera de la vida humana. En la esfera de la educación las instituciones a nivel mundial que llevan a cabo procesos educativos no se han quedado al margen y han incorporado las TIC como elementos tanto de apoyo como de virtualización de la enseñanza. Esta vinculación de las TIC haciendo uso de la internet/intranet ha dado lugar a un nuevo término conocido como e-learning, que se define como “...conjunto de tecnologías, aplicaciones y servicios orientados a facilitar la enseñanza y el aprendizaje a través de Internet/Intranet, que facilitan el acceso a la información y la comunicación con otros participantes” (GALLEGO, 2011). Se asume esta definición puesto que expone todas las herramientas involucradas en el proceso, el medio que utilizan para hacerlo y el aporte que brindan.

Al igual que la utilización de las TIC en la educación también se han adoptado otros términos como son: la comunicación síncrona y asíncrona. En el e-learning son reconocidas como formación síncrona y asíncrona (López, et al., 2007):

- Formación síncrona: Proceso de aprendizaje en línea, llevada a cabo en tiempo real, donde los alumnos y profesores deben coincidir en tiempo y espacio virtual. Se puede utilizar una pizarra electrónica para ver el progreso de una clase y compartir conocimientos, el contenido se puede mostrar también a través de audio o telefonía Internet, entre otras.
- Formación asíncrona: Los profesores y estudiantes no necesariamente tienen que estar conectados en el mismo instante de tiempo, estos pueden acceder al sistema en cualquier momento para consultar los materiales y participar en las actividades.

La formación asíncrona constituye una ventaja para el proceso de enseñanza-aprendizaje, posibilitando a los estudiantes y profesores un horario abierto para acceder al contenido, razón por la cual muchos sistemas encargados de publicar el contenido educativo utilizan este concepto como base de su publicación. Los profesores que emplean este tipo de formación poseen la ventaja de llegar a un mayor número de alumnos.

Para llevar la formación asíncrona se hace uso de los RD, que constituyen sistemas que sirven de apoyo a los procesos de enseñanza-aprendizaje de cualquier institución educativa.

Repositorios Digitales:

Con el aumento de la creación de recursos digitales ha sido necesario pensar en una forma de almacenar dicho contenido, dando como solución el término “repositorio”, que significa un lugar donde se guarda algo. Debido a que la información que se necesita almacenar es de carácter digital, surge un nuevo tipo de repositorio llamado RD, que se define como *“un lugar donde se almacena y mantiene la información digital”* (López 2005), esta definición enfatiza el carácter digital de la información que da lugar al término de RD.

Los RD se clasifican en cuanto al origen y el tipo de información que estos almacenan, en esta clasificación se encuentran los dos grupos siguientes (Chiarani, et al., 2006):

Repositorios Institucionales:

En toda institución es vital almacenar la información creada para su posterior uso, razón por la cual surgen los repositorios institucionales.

Repositorios Temáticos:

Los repositorios temáticos se encargan de almacenar los datos en cuanto a su temática, brindando una clasificación para diferentes ramas de la ciencia u otra disciplina, posibilitando una mayor organización de la información y además permitiendo el enriquecimiento de un área determinada del conocimiento, lo que contribuye al proceso de enseñanza-aprendizaje.

Cada uno de estos tipos se divide a su vez en Repositorios Abiertos y ROA:

Repositorios Abiertos:

Los repositorios abiertos o de uso general como también se les conoce son desarrollados para la libre publicación de documentos, permiten el almacenamiento de artículos, tesis y documentos, entre otros, para poder ejercer un mayor control sobre dichas publicaciones.

1.2. Repositorios de Objetos de Aprendizaje

Dada la evolución en la creación de los contenidos educativos, estos se han convertido en unidades reutilizables y descritas por metadatos; dichos contenidos reciben el nombre de OA. Existe un tipo de RD que se encarga de almacenar y gestionar dicho contenido, conocido como ROA.

Un ROA se define como un repositorio que almacena colecciones de OA que cuentan con una descripción detallada (metadatos) o solamente guarda la descripción de OA almacenados en otros sitios, para poder acceder a su ubicación (Montilva , et al., 2010).

En la anterior definición se toma al OA como centro y razón de ser de un ROA, debido a la importancia que presenta dicho contenido para este tipo de repositorio es necesario realizar un detallado estudio de su definición, atributos y metadatos como una de sus principales características.

1.2.1. Objeto de Aprendizaje

Un término de vital importancia en el e-learning lo constituye sin duda el OA. Existen diferentes definiciones sobre OA, pero en la presente investigación se va a adoptar la definición que plantea que un OA es “cualquier recurso con una intención formativa, compuesto de uno o varios elementos digitales, descrito con metadatos, que pueda ser utilizado y reutilizado dentro de un entorno e-learning” (López, 2005). Se tomó la

anterior definición ya que enfatiza la intención que persigue un OA, se hace referencia a su descripción, la cual permite la reutilización de dicho contenido. Solo se debe agregar que los metadatos también facilitan la búsqueda.

Atributos de los Objetos de Aprendizaje

Los OA en correspondencia con su definición deben ser fáciles de localizar, utilizar, almacenar y compartir, por lo que deben ser (López, 2005):

- **Reutilizables:** El recurso debe ser modular para servir como base o componente de otro recurso. También debe tener una tecnología, una estructura y los componentes necesarios para ser incluido en diversas aplicaciones.
- **Accesibles:** Pueden ser indexados para una localización y recuperación más eficiente, utilizando esquemas estándares de metadatos.
- **Interoperables:** Pueden operar entre diferentes plataformas de hardware y software.
- **Portables:** Pueden moverse y albergarse en diferentes plataformas de manera transparente, sin cambio alguno en estructura o contenido.
- **Durables:** Deben permanecer intactos a las actualizaciones (upgrades) de software y hardware.

Un OA como se menciona anteriormente debe estar descrito por metadatos para poder catalogarlo en repositorios que permitan su localización posterior, razón por la cual estas descripciones constituyen un término de obligado estudio para esta investigación.

Metadatos

El término “meta” proviene del griego que significa “junto a, después de, entre, con”, pero aplicado a las actuales tecnologías el prefijo “meta” toma el significado “acerca de”, por lo que el término metadatos significa “datos acerca de otros datos”.

En un entorno e-learning los metadatos son utilizados para describir los OA, lo que facilita la reutilización de dicho contenido. En esta investigación se definen los metadatos de un OA como un modelo de datos codificado, utilizado para describir OA y recursos digitales similares usados para el aprendizaje (Hilera, 2006), a esta definición se le debe agregar que este modelo de datos debe estar estandarizado para lograr una buena reutilización del contenido.

El amplio desarrollo alcanzado por el e-learning ha propiciado la creación de diferentes tipos de ROA. Esta clasificación tiene en cuenta la ubicación de los OA y sus metadatos.

1.2.2. Tipos y funciones de Repositorios de Objetos de Aprendizaje

Se identifican dos tipos de ROA según la forma en que se concentran los recursos (López, 2005):

- Los que contienen los OA y sus metadatos, en estos los objetos y sus descriptores se encuentran dentro de un mismo sistema e incluso dentro de un mismo servidor.
- Los que contienen sólo los metadatos, el repositorio contiene sólo los descriptores y se accede al objeto a través de una referencia a su ubicación física que se encuentra en otro sistema o repositorio de objetos.

También se pueden encontrar los repositorios que combinan estas dos variantes, también conocidos como mixtos, estos resultan los más frecuentes entre los repositorios que forman parte de una red de repositorios interoperables. Para que RHODA sea un repositorio mixto solo faltaría incorporarle la segunda variante, para poder almacenar los metadatos de los OA que se obtienen a través de las búsquedas federadas.

Por la forma de organizar los catálogos de los metadatos se diferencian dos modelos de ROA (López, et al., 2006):

- Centralizados: Son los ROA más comunes, en ellos los metadatos de los OA están contenidos en un mismo servidor, aunque el objeto esté ubicado en otro servidor.
- Distribuidos: Este modelo opera a través de varios servidores, donde cada uno de ellos contiene diferentes grupos de metadatos y se comunican entre ellos para intercambiarlos.

El RHODA presenta actualmente un modelo centralizado, puesto que cuenta con un solo servidor para albergar los OA y sus metadatos.

Funciones de los ROA

Un ROA debe contar con un grupo de funciones básicas que le permita realizar una adecuada explotación de los OA, estas funciones han sido tratadas por diferentes iniciativas con el objetivo de estandarizar el desarrollo y la implementación de los sistemas relacionados con la formación educativa.

Aprendizaje Avanzado y Distribuido (ADL⁴) por sus siglas en inglés, define un grupo básico de funciones que los repositorios deben proveer con el fin de dar acceso a los OA en un ambiente seguro y además facilitan la interoperabilidad entre ROA. Las funciones son las siguientes (López, 2005):

- Buscar/encontrar: Localizar y desplegar OA.
- Pedir: Un OA que ha sido localizado.
- Recuperar: Recibir un OA que ha sido pedido.
- Enviar: Entregar a un ROA para ser almacenado.
- Almacenar: Poner dentro de un registro de datos un objeto, con un identificador único que le permita ser localizado.
- Colectar: Obtener metadatos de los OA de otros repositorios por búsquedas federadas.
- Publicar: Proveer metadatos a otros repositorios.

De las funciones que se muestran anteriormente la búsqueda constituye la más importante para esta investigación. Un repositorio puede realizar búsquedas simples o avanzadas, estas últimas pueden ser por contenido o por metadatos. Las búsquedas por metadatos constituyen las más importantes para esta esta investigación puesto que son utilizadas en la recolección de metadatos y las búsquedas federadas.

Búsqueda por metadatos:

Todo ROA cuenta con la función de búsqueda por metadatos. En esta búsqueda se seleccionan los metadatos por los que desea buscar. Dicha función es determinante para saber la calidad de un repositorio, puesto que es la encargada de acceder y recuperar los OA. Para la búsqueda los repositorios se apoyan en gestores de base de datos como eXist para la gestión de contenidos XML (metadatos) y librerías como Lucene⁵ para la indexación y búsqueda de texto completo; esta función es posible además por la catalogación de los contenidos, que se realiza mediante estándares de metadatos (LOM, Dublin Core, etc.).

Funciones que facilitan la localización y reutilización de los OA:

⁴Disponible en: <http://www.adl-ilce.org.mx/>

⁵ Disponible en: <http://lucene.apache.org/>

Existen un conjunto de funciones que resultan imprescindibles para lograr la localización y reutilización de los OA, entre las que destacan, catalogación, indexación y empaquetado (Rallo, 2008), (Ceibal, 2009):

- **Catalogación:** Todo tipo de información debe estar catalogada para poder acceder a ella de manera eficiente, los OA no quedan exentos de este planteamiento por lo que es necesario catalogarlos para que sean contenidos localizables dentro de un ROA o desde sistemas externos. La catalogación es definida como *“un proceso que se refiere a la descripción de los documentos, sean cuales sean, independientemente de sus características, de quiénes los describan o del momento del ciclo de vida de la información en que realice, y los beneficios que, en cualquier caso, son los mismos”* (Nápoles, 2011). En el caso de los OA se utilizan los metadatos para su catalogación por la profundidad que presentan en la descripción de un contenido. En RHODA se debe tener en cuenta para la catalogación el estándar LOM.
- **Indexación:** La indexación se refiere al proceso de organización de la información contenida en una base de datos atendiendo a un determinado criterio o modelo de recuperación, es decir que registra ordenadamente la información para elaborar su índice, lo que permite agilizar la obtención de los resultados a la hora de realizar las búsquedas. Para la indexación de datos se generan metadatos para facilitar su recuperación (Collada, 2009). Los sistemas de recuperación de información o motores de búsqueda automatizan la recuperación de la información utilizando algoritmos de indexación y búsqueda para recuperar los documentos más significativos procesando las consultas de los usuarios (Collada, 2009).

En RHODA se debe tener en cuenta la indexación de los metadatos contenidos en la base de datos XML (eXist⁶), permitiendo así la organización de estos para poder agilizar la búsqueda por metadatos. Esta función se llevará a cabo también para los metadatos de OA pertenecientes a otros ROA, pero será el mismo mecanismo que está definido para la búsqueda interna.

- **Empaquetado:** El empaquetado de un OA se puede ver como la creación de un paquete, conformado por su contenido y descripción, donde se referencian todos los recursos que agrupa

⁶ Disponible en: <http://exist.sourceforge.net/>

dicho contenido. En la práctica, se crea un archivo comprimido que contiene todo el paquete, que será reconocido por el ROA u otro sistema que lo almacene (Alvarez, et al., 2008).

Para lograr una mayor reutilización de los OA es necesario que el empaquetado esté regido por estándares para que los objetos puedan ser interpretados por cualquier tipo de herramienta. Para lograr esto varias organizaciones y consorcios en el mundo cuentan con especificaciones y estándares con este fin, tal es el caso de ADL con SCORM e IMS con IMS CP, ambos deberán ser utilizados por RHODA para empaquetar sus OA y todo objeto que esté empaquetado con estos estándares podrá ser almacenado e interpretado por dicho repositorio.

1.3. Interoperabilidad

La reutilización de los OA se extiende más allá de las fronteras de un único sistema puesto que estos contenidos pueden ser accesibles desde sistemas externos. En el escenario de las TIC la interoperabilidad permite que sistemas de información heterogéneos y distribuidos puedan intercambiar diferentes recursos. Esta característica es definida por la IEEE como la *“capacidad de dos o más sistemas o componentes para intercambiar la información y utilizarla”*.

De la definición anterior se desprenden dos capacidades con las que deben contar los sistemas implicados (Bueno, 2010):

- Comunicación: Establecer comunicación para poder intercambiar información.
- Estructura: Estructura de la información que se transfiere entre las entidades para poder utilizarla. Los OA pueden estar estructurados con video, texto, audio, entre otros componentes, pero todo OA empaquetado haciendo uso de estándares, puede ser transferido entre ROA que estén implementados para utilizar dicho estándar.

A partir de la norma ISO 14258:1998 de automatización industrial de sistemas en el seno de una organización se pueden considerar los siguientes tres enfoques o formas básicas por las que las entidades se relacionan para establecer la interoperabilidad (Bueno, 2010):

- El enfoque integrado: Presenta formato común para todos los sistemas participantes. Este formato no es necesariamente un estándar.

- El enfoque unificado: Presenta también formato común, pero a un meta-nivel. Este meta-modelo proporciona un medio de equivalencia semántica para permitir la correspondencia y transformación de datos entre diversos modelos y sistemas.
- El enfoque federado: No se define un formato común. Mantiene la identidad de los sistemas que interoperan, ningún participante impone nada al resto.

El enfoque federado resulta sin duda la opción más acorde con esta investigación. El objetivo que se persigue es que RHODA intercambie información con otros sistemas de manera independiente, sin tener en cuenta las características que estos presenten, solo su interfaz de comunicación. Además se considerará una arquitectura basada en estándares y servicios que permitan cubrir la interacción con una gran variedad de repositorios.

Un ROA debe funcionar de manera independiente, para que permita realizar funciones básicas a sus usuarios locales, pero a su vez debe comunicarse con otro ROA para acceder a sus contenidos sin tener que acceder al repositorio, solo a los servicios encargados de las búsquedas. Esta característica da lugar a las Federaciones de Repositorios de Objetos de Aprendizaje o también conocidas como Repositorios Federados.

1.4. Repositorios federados

La industria del e-learning se enfoca hoy en día en la interoperabilidad para lograr la reutilización de los OA, razón por la cual muchos ROA se han dado a la tarea de intercambiar sus OA con otros repositorios.

Las federaciones de ROA se pueden ver como un conjunto de ROA interoperables, que cuentan con una arquitectura basada en estándares y servicios web para la comunicación.

La federación permite la posibilidad de realizar consultas distribuidas y la no duplicación de datos en distintos ROA (Soto, et al., 2008).

Tipos de federación

Los tipos de federación dependen de la arquitectura de los nodos de la red, teniendo en cuenta la independencia de los nodos, por lo que se evidencian las siguientes clasificaciones (Ochoa, 2009):

- Centralizada: Existe un nodo central el cual cosecha los metadatos de los demás nodos para posibilitar búsquedas posteriores de los demás nodos de la federación.

- Descentralizada: Cada nodo envía por separado una lista de resultados. En este tipo de federación se evidencia una mayor independencia de los nodos de la red con respecto al servidor central.

Para que RHODA pueda comunicarse con otro sistema con total independencia, se analizan los tipos de redes computacionales existentes, que van a representar los tipos de federaciones de ROA, teniendo en cuenta que cada nodo va a constituir un ROA. De dichas redes se analiza la autonomía de cada uno de sus nodos, para poder realizar búsquedas de los OA en cualquier otro ROA adyacente con total independencia.

Tipos de redes

Las redes computacionales presentan diferentes estructuras y características, estas además difieren en cuanto a sus componentes y a las funciones que realiza cada uno en la red.

Teniendo en cuenta la relación funcional entre sus componentes se clasifican en (Contreras, 2008):

- Cliente-servidor: Este tipo de red consta de un nodo que realiza las peticiones (cliente), por alguna necesidad que tenga de utilizar un servicio perteneciente a otro nodo (servidor), que pone dicho servicio a disposición de los clientes que lo necesiten y que posean acceso a él.
- Redes Punto a Punto (P2P): Se refieren a la conexión de dos nodos, que intercambian información entre sí; dicho intercambio se realiza de forma directa.



Figura 1. Red P2P

Las redes P2P se clasifican en (Martínez, 2007):

- Centralizada: Todas las transacciones se realizan a través de un nodo central que gestiona el intercambio de información de cada uno de los nodos pertenecientes a la red, un nodo que quiera conectarse con otro debe realizarlo a través del servidor central. Esta red brinda un control estricto de la información que se intercambia, pero tiene un punto de acceso único que hace a la red dependiente totalmente de dicho punto.



Figura 2. Red P2P centralizada.

- Descentralizada: Todos los nodos que quieran integrarse a la red sólo necesitan saber con quién conectarse, y sus transacciones son transmitidas a los demás sin necesidad de un control central. Es una red muy robusta que permite acceder a datos sin darle importancia a terceros, lo que facilita el manejo descentralizado de información, pero por otro lado y menos importante además que no se tiene un control central que permita establecer qué nodos pueden incorporarse a la red y cuáles no.
- Híbrida: entre centralizada y descentralizada. Un servidor central que muestra cómo se debe hacer la conexión entre nodos pero sin saber la identidad de cada nodo y sin almacenar información alguna, por lo que el servidor no comparte archivos de ningún tipo a ningún nodo.

Otras clasificaciones de redes P2P:

- Desestructurada: No existe un protocolo para establecer las relaciones entre los nodos de la red, esto causa un elevado tráfico en la red por la búsqueda de datos en varios nodos a la vez.
- Estructurada: Emplean un protocolo de consistencia global para asegurar que cualquier nodo puede direccionar la búsqueda a un dato determinado, incluso si este dato es extremadamente raro, garantizando que se puede encontrar cualquier dato almacenado en la red.

Para que RHODA pueda establecer una conexión eficiente es vital tener una red P2P estructurada y descentralizada, que permita establecer un intercambio de datos mediante un protocolo común y solo teniendo en cuenta el ROA con el que se va a comunicar.

1.5. Búsqueda de contenidos en sistemas externos

En la actualidad la búsqueda de los contenidos no solo se limita a la localización de los contenidos pertenecientes al sistema que realiza dicha función. La interoperabilidad entre los diferentes sistemas del e-

learning ha permitido el intercambio de la información que estos contienen. Para lograr el acceso al contenido ubicado en lugares remotos se presentan tres soluciones tecnológicas (Codina, et al., 2007):

- **Indización:** Constituye la solución más antigua. Es llevada a cabo por la mayoría de los motores de búsqueda existentes. Consiste en identificar y copiar todos los contenidos distribuidos en diferentes servidores, hacia una base de datos centralizada; luego se debe analizar para generar un índice. Cuando un usuario desea buscarlo debe introducir una palabra, esta se compara con el índice y como respuesta se presenta una lista de los contenidos que presentan coincidencia. Este proceso impone una alta exigencia y altos requerimientos en recursos computacionales. Además no se tiene en cuenta el estado del contenido una vez que es copiado.
- **Recolección (harvesting):** Fue la segunda solución en aparecer. Resulta la creación de un índice a partir de la recogida de metadatos procedentes de diversas fuentes, codificados en forma de registros a partir de normas y protocolos. El índice creado por el sistema que realiza la recolección solo contiene los metadatos de los contenidos, permaneciendo estos últimos en los sistemas originales. No requiere descargar, copiar, almacenar ni analizar los contenidos. Brinda la posibilidad de seleccionar de las fuentes. Facilita la utilización de estándares de metadatos por lo que la respuesta va a estar bien estructurada y no requiere un alto grado de procesamiento del sistema. La realización de este proceso requiere de estándares especializados, uno de los más utilizados es el OAI-PMH, puesto que es desarrollado por iniciativas que constituyen ejemplos a nivel mundial, por ejemplo, AGREGA.
- **Búsqueda federada:** Representa la última solución en aparecer, aunque es utilizada desde hace tiempo por buscadores. Consiste en consultar varios servidores de manera simultánea. Aplicar la búsqueda federada a una colección heterogénea de depósitos digitales, archivos, etc., obtener las respuestas y crear una página de resultados bien organizada implica un proceso más complejo que en el caso de los motores de búsqueda; constituye un proceso complejo para cualquier sistema que lo lleva a cabo. Al igual que la recolección no requiere descargar, copiar, almacenar ni analizar los contenidos, así como que brinda la posibilidad de seleccionar de las fuentes. Permite además el empleo de estándares de metadatos, por lo que la respuesta va a estar bien estructurada. La realización de este proceso requiere de estándares especializados, uno de los más utilizados es el

SQI, puesto que es desarrollado por iniciativas que constituyen ejemplos a nivel mundial (AGREGA, ARIADNE, ELENA, etc).

En RHODA se debe realizar la recolección y la búsqueda federada por la eficiencia de dichos procesos a través de los estándares de interoperabilidad OAI-PMH y SQI respectivamente. Para realizar estas funciones primero se debe tener en cuenta la ubicación de los ROA que proveen los OA y después se deben realizar las peticiones para que se establezcan las coincidencias y se muestren los resultados en el ROA.

1.6. Especificaciones y estándares del e-learning

Para lograr la interoperabilidad entre ROA se deben definir los modos y formas de comunicación, para esto hay que tener en cuenta el uso y cumplimiento de un conjunto de especificaciones y estándares, que permitan el intercambio de contenidos y el entendimiento de la información intercambiada.

Catalogación de los OA:

La comunidad de estándares del e-learning ha creado esquemas de metadatos para los ROA compatibles con los utilizados en las bibliotecas digitales, como DC. Los ROA actuales tienden a utilizar LOM (Learning Object Metadata) o algún esquema compatible o derivado de éste, como es el caso de IMS Learning Resource Metadata (López, et al., 2006).

- **Metadatos de Objetos de Aprendizaje**

LOM especifica la semántica y la sintáctica de un conjunto mínimo de metadatos necesario para trabajar con un OA. Permite el desarrollo de catálogos sin importar la cultura y el idioma, tanto de los objetos educativos como de las instancias de metadatos que los describan. LOM describe los recursos educativos y provee las recomendaciones para el mapeo a otros esquemas de metadatos (López, et al., 2006).

Este estándar presenta 47 elementos básicos, pero además es extensible, los metadatos se organizan en forma jerárquica, partiendo de nueve categorías. La asignación de valores a cada uno de estos elementos se realiza principalmente de forma manual.

En el **Anexo 1** se muestra una tabla con las categorías y metadatos del estándar.

- **Dublin Core**

Estándar creado por la iniciativa Iniciativa de Metadatos Dublin Core (DCMI) por sus siglas en inglés, que constituye un mecanismo de catalogación de cualquier tipo de recurso, por lo que se dice que es de uso muy general. Es un estándar sencillo pero potente que puede extenderse. Las implementaciones de DC usan generalmente XML y se basan en el Framework de Descripción de Recursos (RDF). DC se define por ISO en su norma ISO 15836 del año 2003, y la norma NISO Z39.85-2007. Es uno de los estándares más usados en el uso con RDF y cuenta con 15 metadatos.

En el **Anexo 2** se muestra una tabla que contiene los 15 metadatos presentes en este estándar.

El Dublin Core Cualificado conlleva un elemento adicional, la audiencia (Audience), así como un grupo de elementos de específicos que permiten un mayor nivel de especificidad, llamados cualificadores, estos refinan la semántica de los elementos de tal forma que pueden ser útiles para la recuperación y localización de OA y recursos en general (DCMI, 2010).

El protocolo OAI-PMH especifica que los metadatos que el transmite deben codificarse en DC sin cualificar. Como la recolección es una función importante para esta investigación en el **Anexo 3** se muestra el código correspondiente al DC sin cualificar.

- **Especificación de Metadatos de Recursos de Aprendizaje**

Esta especificación se encuentra estrechamente ligada a LOM y describe los nombres, las definiciones, organización y restricciones de los elementos del esquema de metadatos propuesto por IMS, el cual tiene cambios mínimos respecto a lo propuesto por LOM. Sus metadatos presentan una estructura jerárquica de árbol, siendo LOM el elemento raíz, del cual se van a derivar las categorías y sus elementos, las hojas son las instancias, es decir, los datos y valores de cada elemento (López, 2005).

Como esta especificación está estrechamente ligada a LOM no será de mucha importancia para la investigación puesto que ya se analizó anteriormente el estándar LOM.

De los estándares vistos anteriormente, LOM y DC constituyen los más utilizados a nivel mundial para describir los metadatos de los OA, por lo que serán el centro de atención de esta investigación. Pero existen otros como Estándar de Metadatos de EdNA (EdNA MD), Perfil de Aplicación de Metadatos VET de LORN (LORN MD) por sus siglas en inglés, etc. Estos últimos se pudieran tener en cuenta en caso de que RHODA pudiera realizar búsquedas federadas en ROA que utilicen dichos estándares.

Como RHODA solo interpreta OA que estén descritos con el estándar LOM, es necesario realizar la conversión de los metadatos para poder realizar las búsquedas en ROA que no utilicen el mismo estándar. Para realizar esta acción es preciso tener en cuenta un grupo de estándares que permiten transformar los metadatos de los distintos estándares al estándar utilizado en RHODA.

Conversión de metadatos:

Un OA debe estar descrito por metadatos para facilitar su almacenamiento, identificación y recuperación. La utilización de estándares para la descripción ha facilitado la conversión de los metadatos de un OA descrito por estándar DC hacia el estándar LOM y viceversa. Solo se aborda la conversión entre estos 2 estándares de metadatos porque son los más utilizados a nivel mundial y el DC por su parte es obligatorio para la recolección de metadatos.

A continuación se aborda el estándar que permite dicha conversión:

- **IEEE P1484.**

Este estándar facilita la búsqueda, intercambio y uso compartido de los OA, permitiendo el desarrollo de catálogos e inventarios que especifican el contexto en que los OA y sus metadatos serán reutilizados. Define un esquema conceptual de datos común, lo que permite facilitar las transformaciones entre especificaciones de metadatos.

Establece una correspondencia entre los metadatos especificados por LOM y DC, lo que facilita la transformación de metadatos del estándar DC al estándar LOM.

En el **Anexo 4** se muestra una tabla con la equivalencia que se establece entre los metadatos de DC e LOM.

Este estándar se debe tener en cuenta para convertir los metadatos de los OA que estén descritos con DC para poder ser interpretados por RHODA. Además se debe realizar el proceso inverso para publicar los metadatos mediante el estándar DC (IEEE, 2008).

Empaquetado de los contenidos:

Un paquete representa una unidad de contenido utilizable y reutilizable en otros sistemas, debe contener toda la información necesaria para ser utilizado de forma independiente, para esto debe estar empaquetado

de forma estándar. Existen estándares para el empaquetamiento de contenidos educativos, tales como SCORM e IMS CP.

- **Modelo de Referencia de Objetos de Contenido Compatibles**

El modelo SCORM es un estándar desarrollado por la organización ADL. Surge como iniciativa para unificar las iniciativas existentes hasta el momento encargadas de empaquetar los contenidos educativos. Actualmente se encuentra en la versión SCORM 2004, que es muy parecida a la versión anterior SCORM 1.2.

SCORM recomienda seguir el estándar LOM para el trabajo con los metadatos. Define una serie de componentes sobre los cuales aplica los metadatos, cada componente tiene un conjunto de metadatos obligatorios. Permite utilizar otros estándares como Dublin Core, pero no garantiza su correcto funcionamiento (Navas, 2007).

- **Empaquetado de Contenidos**

IMS CP constituye una especificación muy utilizada en el entorno e-learning que permite formar los paquetes de contenidos que un ROA podrá exportar para que otros sistemas puedan utilizarlo. Un ROA debe tener la capacidad de importar y extraer el contenido de los paquetes que reciba con esta especificación.

Para esta especificación el paquete de contenido está compuesto por dos elementos, manifiesto y contenido. El manifiesto contiene secciones, que no son más que elementos XML que describen al propio manifiesto con metadatos, la organización del contenido, las referencias a los recursos que componen el contenido incluyendo sus metadatos y las referencias a archivos externos, otro elemento pueden ser otros submanifiestos. El contenido no es más que el fichero del recurso. Con estos dos elementos se crea un archivo comprimido (.zip) y se llama Archivo de Intercambio de Paquete (PIF) (López, 2005).

En RHODA se deben tener en cuenta ambos estándares para el empaquetamiento.

Estándares para la recolección de metadatos:

Únicamente se considera el protocolo OAI-PMH porque es el más utilizado para la realización de las búsquedas federadas por parte de las principales iniciativas a nivel mundial que constituyen ROA

(AGREGA, etc), por lo que es necesaria su implementación para buscar OA pertenecientes a estos sistemas.

- **Protocolo para la Recolección de Metadatos**

Permite publicar recursos digitales etiquetados que se encuentran disponibles en repositorios. Este protocolo consta de dos tipos de frameworks: por una parte están los sistemas que implementan la exposición de metadatos y por otra los sistemas que implementan la recolección de metadatos. Un requisito de este protocolo para poder recolectar los metadatos, es que estén descritos usando Dublin Core. El protocolo de comunicación utilizado es HTTP. La ventaja que ofrece disponer de este protocolo es la posibilidad de que los recursos de un repositorio dado (repositorio harvesteado) puedan formar parte de los resultados de búsquedas realizadas desde otros repositorios (repositorios que hacen harvesting), o desde buscadores como Google (Sarasa, et al., 2007).

Esta iniciativa será utilizada para coleccionar metadatos publicados en ROA externos, pertenecientes a OA descritos bajo el estándar DC. Después de realizar la recolección es necesario la conversión de esos metadatos al estándar LOM para que puedan ser interpretados por RHODA a la hora de realizar las búsquedas. En cuanto a la publicación de los metadatos es necesario convertirlos primeramente a DC para que puedan ser interpretados por otro ROA que utilice OAI-PMH para la recolección de metadatos.

Para la recolección en RHODA se debe tener en cuenta el protocolo OAI-PMH puesto que constituye un protocolo muy utilizado para la recolección de metadatos que permite realizar búsquedas conjuntas en todos los proveedores de datos que se desee.

Estándares para las búsquedas federadas:

En este apartado solo se analiza el estándar SQL porque es el más utilizado para la realización de las búsquedas federadas por parte de las principales iniciativas a nivel mundial que constituyen ROA (AGREGA, ARIADNE, ELENA, etc), por lo que es necesaria su implementación para buscar los registros de metadatos pertenecientes a los OA contenidos en estos sistemas.

- **Interfaz Simple de Consultas**

Es una Interfaz de Programación de Aplicaciones (API) para el establecimiento de sesión y realización de consultas síncronas y asíncronas que define los servicios que un repositorio debe de tener disponibles para

recibir y responder consultas de otros repositorios. Es la parte de la arquitectura de repositorios educativos que define los servicios necesarios para permitir la interoperabilidad entre estos. Solo se encarga del envío y recepción de consultas, no teniendo en cuenta en ningún momento la estructura de las mismas, lo que lo hace sencillo de implementar en una gran variedad de sistemas heterogéneos. Los servicios brindados incluyen servicios básicos, como por ejemplo servicios de autenticación, gestión de la sesión y servicios de aplicación como gestión de las consultas. Las ventajas de SQI vienen asociadas a que es neutral respecto al lenguaje de consultas utilizado en el manejador de BD y en el modelo semántico seguido por el repositorio (Motz, et al., 2010).

SQI presenta dos escenarios diferentes: en el escenario síncrono el destino devuelve los resultados a la fuente, por lo tanto la recuperación de los resultados es iniciada por la fuente. El proceso es el siguiente, la fuente realiza la consulta y a través de otros métodos accede después a los resultados.

En el escenario asíncrono la transmisión de resultados es responsabilidad del destino, es decir una vez iniciada la consulta y a medida que se obtienen los resultados, estos son transmitidos a la fuente. Para hacer posible este escenario la fuente tiene que tener la capacidad de identificar una consulta enviada a un destino particular, por ejemplo si la misma consulta fue enviada a diferentes destinos. También, la fuente, debe de implementar un punto de acceso para la recepción de los resultados. Tanto en el escenario síncrono como asíncrono es importante hacer notar que es posible realizar múltiples consultas por sesión, inclusive simultáneamente (Sarasa, et al., 2007).

SQI constituye un estándar muy difundido para realizar las búsquedas federadas y que por sobre todas las cosas no tiene en cuenta el modelo semántico de los sistemas que interoperan. Por esto es que constituye un estándar de obligatorio uso para confeccionar la arquitectura de un ROA que sea un sistema interoperable.

En el **Anexo 5** se muestra una tabla con los métodos que establece SQI para realizar las consultas.

Es necesario analizar los lenguajes de consultas más utilizados por los sistemas que implementan SQI, para poder establecer cuáles serán utilizados en RHODA para realizar e interpretar consultas. Además resulta de importancia establecer un sistema que convierta dichos lenguajes al lenguaje utilizado por RHODA (XQuery) para realizar las consultas en la base de datos.

Lenguajes de consulta para realizar búsquedas con SQI:

Para la realización de consultas en la búsqueda federada a través de SQI son empleados varios lenguajes de consulta (Sarasa, 2008) (Segura, 2009):

- **Lenguaje de Consulta ProLearn (PLQL):**

Propuesta de lenguaje estándar simple de consultas para recuperar OA de repositorios heterogéneos. Combina la búsqueda aproximada, y la búsqueda exacta. El resultado de una consulta PLQL es un conjunto de Identificador Uniforme de Recurso (URI)⁷ apuntando a documentos, posiblemente con metainformación describiéndolos. La especificación define diferentes niveles de funcionalidad que llevan asociados subconjuntos de funcionalidades y diferentes poderes de expresividad, posibilitando así que cada repositorio se adapte a sus necesidades. El protocolo SQI ofrece un método, SetQueryLanguage, que permite a una fuente establecer el lenguaje y el nivel de las consultas, usando para ello la URI que identifica el nivel de consulta.

- **Lenguaje de Consulta Contextual (CQL):**

Constituyó un punto de partida para definir PLQL, pero difiere en algunos aspectos. Se usa mucho en combinación con el protocolo Búsqueda/Recuperación vía Localizador de Recurso Uniforme (URL)⁸ (SRU)⁹ para búsquedas sobre bibliotecas. No soporta estructuras de metadatos jerárquicas, pues en el ámbito de las bibliotecas se usan esquemas de metadatos planos como DC.

- **Lenguaje de Intercambio de Consulta (QEL):**

Es un lenguaje de consultas RDF¹⁰ que está expresado usando sintaxis Datalog¹¹. Fue implementado para la red ELENA, una red P2P que proporcionaba búsqueda interoperable entre ROA. Es independiente del esquema de metadatos. Retorna variables acotadas que encajan con objetos, predicados y temas RDF, lo

⁷ Disponible en: <http://www.w3.org/Provider/Style/URI>

⁸ Disponible en: <http://www.alegsa.com.ar/Dic/url.php>

⁹ Disponible en <http://www.loc.gov> › Standards

¹⁰ Disponible en <http://www.w3.org/RDF/>

¹¹ Disponible en: <http://www.datalogtechnology.com/>

cual difiere de PLQL, el cual está diseñado para recuperar instancias de metadatos en vez de resultados parciales.

- **Lenguaje de Consulta Básico (VSQL):**

VSQL es un lenguaje interactivo que permite escribir sentencias SQL y ver los resultados. También proporciona un número de meta-comandos y varias características que facilitan la escritura de scripts y la automatización de una gran variedad de tareas. A través de VSQL se puede controlar la entrada y salida de la codificación UTF-8. Las variables que provee VSQL son simplemente pares de nombre/valor, donde el valor puede ser cualquier cadena de cualquier longitud. Los meta-comandos ayudan a hacer VSQL más útil para la administración o secuencias de comandos.

RHODA utiliza XQuery como lenguaje para la búsqueda interna en la base de datos XML, pero para el desarrollo del estándar SQI en las búsquedas federadas es necesario que el repositorio pueda interpretar otros lenguajes de consulta puesto que la mayoría de ROA interoperables que realizan búsquedas federadas mediante SQI establecen alguno de estos lenguajes para las consultas. Resulta necesario que RHODA interprete los lenguajes QEL y VSQL ya que son los más utilizados, esto obliga a desarrollar un mediador (wrapper) que permita la conversión de una consulta en lenguaje QEL o VSQL al lenguaje XQuery para poder buscar en la base de datos cuando se realiza una consulta a RHODA por parte de otro ROA que desee buscar un OA.

Estándares para las arquitecturas de los ROA

Existen estándares que constituyen especificaciones acerca de la arquitectura global de un ROA relacionada con la interoperabilidad. En esta investigación se estudian estándares de este tipo para poder conformar una arquitectura. A continuación se muestran algunos (Hilera, et al., 2010), (Sarasa, 2008):

- **Interoperabilidad entre Repositorios Digitales**

Este estándar de IMS permite facilitar el acceso a los contenidos educativos en sistemas externos. Define a los repositorios como colecciones de recursos con acceso a través de una red, sin conocimiento previo de la estructura de la colección. Brinda recomendaciones para la interoperabilidad entre ROA, atendiendo a las funciones más comunes de estos sistemas como son: buscar, exponer, coleccionar, enviar, almacenar, pedir, entregar y alertar. Estas funciones se encuentran repartidas en dos áreas. Por un lado, a nivel del

repositorio y, por otro, según el manejo de los recursos. De estas funciones se plantean cinco combinaciones fundamentales (Motz, et al., 2010), (López, 2005):

- Buscar/Exponer (Search/Expose):

Ejecuta la búsqueda de metadatos asociados con los contenidos que el repositorio expone. Se recomienda utilizar XQuery¹² para colecciones con metadatos en XML y (Z39.50)¹³ para búsquedas en sistemas bibliotecarios.

En RHODA actualmente se utiliza XQuery para colecciones de datos en XML para las búsquedas de los OA en el repositorio. Mientras que para las búsquedas federadas se debe tener en cuenta el estándar SQL.

- Colectar/Exponer (Gather/Expose):

Define la forma de buscar los metadatos pertenecientes a un ROA externo que estén distribuidos en la red para posibilitar el acceso al contenido que describen, esta búsqueda puede ser de forma automática donde se establece la periodicidad con la que se va a realizar, también puede ejercerse de forma manual cuando el encargado de realizarla lo desee. Se recomienda que sea de forma automática.

Esta funcionalidad proporciona la forma de escribir los metadatos que van a servir para las búsquedas y la forma de agruparlos en almacenes para realizar búsquedas futuras. Interactúa con el repositorio de dos maneras diferentes: la primera consiste en solicitar metadatos del repositorio, mientras que en la segunda ofrecen metadatos al almacén para que sean guardados.

No existen recomendaciones específicas para realizar esta función, pero IMS DRI sugiere que OAI puede proveer una funcionalidad adecuada, mediante su protocolo OAI-PMH. Este será el protocolo a tener en cuenta en RHODA para realizar dicha función.

- Enviar/Almacenar (Submit/Store):

¹² Disponible en: <http://www.w3.org/XML/Query/>

¹³ Disponible en: <http://www.loc.gov/z3950/agency/>

Se enfoca a la manera en la que un objeto se mueve a un repositorio desde un sitio accesible por red y cómo el objeto será representado en el repositorio para su acceso. Se recomienda el uso de paquetes IMS a través de SOAP.

En RHODA no resulta necesario almacenar un OA que sea de otro ROA tras una búsqueda, pero sí cuando se comunica con otros sistemas como herramientas de autor, ejemplo CRODA¹⁴. Para lograr esto se deben consumir los servicios publicados por estas herramientas para poder almacenar los OA en el repositorio para su posterior gestión.

- Solicitar/Entregar (Request/Deliver):

La función Solicitar es la petición de acceso a un recurso que realiza un usuario una vez localizado dicho recurso gracias a los metadatos que lleva asociados. Entregar se refiere a la respuesta que le da el repositorio, que le otorga o le niega el acceso al recurso.

Para la solicitud, un usuario que desee acceder a un OA localizado mediante la recolección de metadatos o la búsqueda federada, solicita el acceso mediante el servicio web publicado por el ROA donde se almacena el OA. Esto se realiza mediante protocolo HTTP.

Para la entrega en RHODA se debe publicar un servicio web para dar acceso al registro completo de metadatos que posee el OA localizado a través de la búsqueda federada o la recolección de metadatos. Esta entrega se realiza mediante el protocolo API de Java para SOAP con Adjuntos (SAAJ) por sus siglas en inglés.

- Alertar/Exponer (Alert/Expose):

Función clave, en la que a través de correo electrónico se notifica a los usuarios sobre eventos en el repositorio. No hay recomendación específica.

Esta función se realiza mediante las notificaciones que ya están desarrolladas en la versión actual de RHODA. Solo que se extenderán a los demás usuarios que accedan a través de la recolección de metadatos y las búsquedas federadas.

En el **Anexo 6** se muestra el esquema que presenta el estándar.

¹⁴ Herramienta de autor desarrollada en la Universidad de las Ciencias Informáticas

IMS DRI es un estándar eficiente para la arquitectura de un ROA interoperable, que presenta recomendaciones para lograr la interoperabilidad entre repositorios, por esta razón la arquitectura de todo RHODA debe estar basada en este estándar, teniendo en cuenta sus recomendaciones para las funciones que expone.

- **Framework Abstracto de IMS**

IMF AF por sus siglas en inglés, constituye una herramienta que define cómo se desarrollarán las especificaciones dedicadas a la interoperabilidad, definidas por la organización IMS. Es capaz de cubrir todas las necesidades y servicios que pudiera tener una plataforma de aprendizaje virtual. Se encarga de recomendar el estándar de IMS adecuado en cada situación, o estándares de otras organizaciones en caso de que no haya ningún estándar IMS que responda a las necesidades en una situación determinada.

Define una arquitectura compuesta por capas que cubren cada una de las necesidades de un sistema. Persigue el objetivo de favorecer siempre la interoperabilidad del mayor número de sistemas posibles, para lo que ofrece una amplia gama de recursos para la implementación de cada servicio, así como diferentes lenguajes para implementar dicho servicio (Hilera, et al., 2010).

Esta especificación define un conjunto de servicios referentes a todas las funciones que realiza un ROA, lo cual no es necesario para RHODA, puesto que este repositorio ya realiza las funciones básicas de un sistema de este tipo, por lo que no le resulta factible a RHODA transformar toda su arquitectura en una arquitectura de capas como la que presenta dicha especificación.

- **Arquitectura para el Descubrimiento, Registro y Resolución de Repositorios de Objetos de Contenidos**

CORDRA por sus siglas en inglés, es un modelo arquitectónico abierto y basado en estándares, que define un marco para la federación de las colecciones digitales. Este modelo hace de puente entre los materiales docentes y los repositorios, tratando de identificar y especificar (no desarrollar) las tecnologías y los estándares de interoperabilidad apropiados, con la finalidad de combinarlos en un modelo de referencia. Permite la búsqueda federada de repositorios y recursos de aprendizaje distribuidos creados por diferentes desarrolladores. A diferencia de otras propuestas, que se centran en realizar las búsquedas por los diferentes repositorios, CORDRA se basa en centralizar los metadatos para varios repositorios de

contenido a través de un proceso de inscripción y ejecutar la búsqueda en el conjunto de metadatos (CORDRA, 2006).

Un repositorio que contiene material docente con metainformación y unos métodos de gestión propios que quiera pertenecer al sistema federado CORDRA debe inscribirse en el registro de repositorios para permitir su descubrimiento, acceso y administración. En los registros federados se mantiene un catálogo que contiene los metadatos de todos los OA que contienen.

CORDRA es un modelo detallado y definido en el que se explica con claridad el diseño a seguir, pero no cómo llevarlo a cabo, se trata sólo de modelos propuestos en los cuales no se entra en detalle en cuanto a cómo construir sistemas que se adapten al mismo (Otón, 2006).

Por las anteriores razones y además porque CORDRA presenta un carácter centralizado en su arquitectura es que no representa un modelo a seguir por RHODA para federarse a otros repositorios.

1.7. Servicios web

Los servicios web, se proponen como una alternativa para facilitar la intercomunicación entre diferentes arquitecturas de componentes, ofreciendo una visión de dichas arquitecturas, basada en servicios. Suponen el establecimiento de nuevos mecanismos de comunicación Negocio a Negocio (B2B) por sus siglas en inglés, Negocio a Consumidor (B2C) por sus siglas en inglés, Negocio a Empleado (B2E) por sus siglas en inglés. Esta alternativa permite que sistemas desarrollados en diferentes plataformas y lenguajes de programación puedan interactuar e intercambiar información. Un servicio web pone a disposición una serie de operaciones, que se pueden invocar mediante HTTP/XML.

Un servicio web se puede definir como *"Una aplicación modular que se autodescribe, que puede ser publicada, localizada, invocada o usada desde cualquier parte de la web y que está basada en estándares abiertos como XML, UDDI, SOAP o WSDL"* (Otón, 2006).

Estándares que conforman los servicios web (Otón, 2006):

- **Lenguaje Extensible de Marcas:** Fue creado en Febrero de 1998. Constituye un metalenguaje extensible de etiquetas desarrollado por el Consorcio de WWW (W3C) por sus siglas en inglés

derivado del Estándar Generalizado de Lenguaje de Marcas (SGML¹⁵) por sus siglas en inglés y el Lenguaje de Marcado de Hipertexto (HTML) por sus siglas en inglés. Permite definir la gramática de diferentes lenguajes aplicables a necesidades específicas y se utiliza para representar la información distribuida en la red, dado que hace posible que los sistemas que comparten la información sean compatibles.

Es un lenguaje muy versátil y fácil de interpretar por los navegadores web por lo que se utiliza para la implementación de diferentes estándares relacionados con el e-learning.

- **Descripción, Descubrimiento e Integración Universal:** Constituye una iniciativa de Microsoft e IBM y se refiere a un directorio que contiene un registro de las descripciones de servicios web. Este estándar permite a los sistemas anunciar sus servicios, ya que brinda la posibilidad de buscar y registrar dichos servicios. Es un framework abierto, independiente de la plataforma.
- **Protocolo de Acceso a Objetos Simples:** Protocolo basado en XML utilizado para el intercambio de información en sistemas distribuidos, ya que proporciona un formato común para los mensajes utilizados en dicho intercambio.

El ítem básico de la transmisión para el intercambio de datos es un mensaje SOAP, el cual consta de un sobre (envelope) SOAP obligatorio, una cabecera (header) SOAP opcional, y un cuerpo (body) SOAP obligatorio, como se muestra en el **Anexo 7**.

A parte del envelope SOAP visto en el anexo un mensaje puede contener también uno o más adjuntos los cuales pudieran ser los OA. Para el envío de estos adjuntos se puede hacer uso del API llamado SAAJ¹⁶.

- **Idioma de Descripción de Servicios Web:** Contiene una descripción de la interface del servicio web. Un documento WSDL describe a un servicio web, especifica el protocolo de red y las especificaciones del formato del mensaje y la dirección de este. También define las acciones

¹⁵Disponible en: <http://www.w3.org/Markup/SGML/>

¹⁶Disponible en: <http://java.sun.com/webservices/saaj/index.jsp>

ejecutadas por un servicio web y los datos transmitidos a estas acciones. WSDL indica a los usuarios la forma de acceder a los servicios y de cómo realizar las llamadas a estos.

En el **Anexo 8** se muestra el modelo integral de servicios web para un mayor entendimiento de su funcionamiento.

Seguridad en servicios web:

Publicar una serie de servicios accesibles a todo el mundo supone una clara ventaja para lograr la integración de diferentes sistemas, pero a la vez se convierte en un problema de seguridad. Cada servicio web debe contar con un alto grado de especificidad para establecer su seguridad ya que tiene que garantizar una serie de acciones con el fin de garantizar un sistema fiable y libre de ataques externos o internos, entre las que resaltan (Alvarez, 2007):

- Asegurar la autenticación mutua entre el consumidor que accede a los servicios web y el proveedor de dichos servicios.
- Permitir la autorización del acceso a recursos, operaciones y procesos.
- Ofrecer la posibilidad de que un consumidor se identifique una sola vez y pueda acceder a servicios en diversos sistemas.
- Garantizar la confidencialidad de los datos intercambiados.
- Garantizar la integridad de los datos, protegiéndolos frente a alteraciones fortuitas o deliberadas.
- Impedir el repudio de las operaciones.
- Protegerse frente a todo tipo de ataques.

Estándares de seguridad en servicios web:

La seguridad en los servicios web está regida por estándares que permiten el intercambio seguro de la información. En esta investigación se realiza el análisis de un estándar que resulta muy efectivo para asegurar un servicio web, el cual se muestra a continuación.

Seguridad de servicios web

(WS-Security) por sus siglas en inglés especifica cómo firmar y cifrar mensajes SOAP. Retoma los elementos de seguridad pero usando las especificaciones y estándares tradicionales, es decir, aprovecha las fortalezas de estándares como X.509¹⁷, Kerberos¹⁸, XML Encryption¹⁹ y XML Signature²⁰ (Isaza, et al., 2008).

1.8. Iniciativas de federaciones de sistemas e-learning

En la actualidad existen repositorios que establecen comunicación entre ellos para realizar las búsquedas de los OA. Estos sistemas presentan una propuesta para la realización de la arquitectura de una red federada ya que constituyen un punto de referencia para cualquier sistema que se quiera federar. Entre las federaciones más importantes se encuentran las siguientes:

AGREGA:

Constituye una federación de repositorios de contenidos digitales educativos. Los objetos digitales educativos que se gestionan en los repositorios de AGREGA son objetos SCORM 2004 cuyos metadatos deben estar etiquetados usando LOM-ES. Esta federación está compuesta por una red de nodos²¹ distribuidos en las diferentes Comunidades Autónomas de España. Interopera con otros repositorios por medio de una arquitectura SOA y la aplicación de estándares (IMS DRI, OAI-PMH, SQI) que garantizan la interoperabilidad (Sanz, 2010). En AGREGA solo se especifica la catalogación de los contenidos mediante el estándar LOM-ES, no se tienen en cuenta otros estándares, lo que impide el almacenamiento de OA que no estén descritos por dicho estándar.

En el **Anexo 9** se muestra la arquitectura de un nodo AGREGA.

¹⁷ Disponible en: <http://www.tech-faq.com/x509.html>

¹⁸ Disponible en: <http://www.kerberos.org/>

¹⁹ Disponible en: <http://www.w3.org/TR/xmlenc-core/>

²⁰ Disponible en: <http://www.w3.org/Signature/>

²¹ Nodo: En este contexto se refiere a todo sistema e-learning interoperable (LMS, BD, ROA).

Un nodo AGREGA presenta contenidos almacenados en el esquema SCORM 2004 y descritos por LOM-ES²². Además publica una interfaz de interoperabilidad compuesta por un conjunto de servicios web. La arquitectura está basada en el estándar IMS DRI y la búsqueda se realiza mediante SQL. Implementa otros protocolos y herramientas para compartir contenidos y lograr la interoperabilidad en sentido general, entre los que destaca OAI-PMH que permite coleccionar y publicar metadatos.

En AGREGA para llevar a cabo el protocolo OAI-PMH se desarrolla un proveedor de datos. En este sentido el sistema devuelve una lista de metadatos en formato DC, tras haber realizado la transformación desde LOM-ES (sólo devuelve los contenidos digitales públicos y que hayan cambiado desde la última vez que se solicitaron) (Sarasa, et al., 2007).

Esta iniciativa es una de las más reconocidas a nivel mundial, implementa estándares muy eficientes para lograr la interoperabilidad y que además define la interfaz de interoperabilidad basada en servicios web.

ARIADNE:

Alianza de Redes Europeas para la Creación y Distribución Remota de contenidos para el Aprendizaje. Una de las principales contribuciones de esta iniciativa es una propuesta de metadatos educativos desarrollada en colaboración con el IMS. Permite la compartición y reutilización del material educativo (Sampieri, 2008). En ARIADNE se evidencia una federación que cuenta con un repositorio central del cual dependen los demás repositorios para realizar las búsquedas, lo que provoca que si se pierde este nodo deja de funcionar la red.

En el **Anexo 10** se muestra la arquitectura de ARIADNE.

Como se muestra en la figura, ARIADNE presenta los siguientes elementos (Otón, 2006):

- El núcleo central del proyecto es la distribución de los datos contenidos en un repositorio con componentes digitales reutilizables para la educación, llamado Knowledge Pool System (KPS).
- El gestor de KPS forma parte de la capa de datos, en la cual se almacenan los OA y los metadatos que los describen.

²²Variante para el idioma español del estándar LOM. Disponible en: [Http:// www.lom-es.es/](http://www.lom-es.es/)

- El acceso al KPS para disponer de los datos, así como la gestión de cursos, se hace mediante herramientas Search and Index Learning Objects (SILO²³) y Web-Based Learning Environment (WEBLE²⁴).
- KPS Client: Es la herramienta de acceso al KPS.

ARIADNE brinda la posibilidad de hacer búsquedas federadas en otros repositorios externos, estas se realizan de forma transparente al usuario en los repositorios de ARIADNE y MERLOT²⁵. Para realizar estas búsquedas utiliza un lenguaje de consulta llamado SQL. Además permite exportar sus metadatos en LOM.

En el **Anexo 11** se muestran los estándares relacionados con las búsquedas federadas utilizados en ARIADNE y la interfaz de búsqueda de este sistema.

Esta federación presenta la utilización de estándares reconocidos para las búsquedas federadas y hace uso de herramientas para realizar estas funciones e incluso las publica para montar un sistema similar.

ELENA:

Es un proyecto europeo que propone mediadores de servicios educativos basado en una infraestructura interoperativa llamada "smart spaces for learning²⁶", que permiten la integración de servicios heterogéneos de aprendizaje como herramientas de tutoría, LMS, sistemas de video-conferencia y repositorios. ELENA es una capa de la infraestructura propuesta por Edutella²⁷, en la cual se conectan aplicaciones con tipos diferentes de repositorios, modelos de búsqueda y diferentes esquemas de metadatos (López, et al., 2006).

CAREO:

²³ Disponible en: <http://ariadne.cs.kuleuven.be/ALOCOMSil/upload.jsp;jsessionid>.

²⁴ Disponible en: <http://www.jstor.org/pss/3250989>

²⁵ Disponible en: <http://www.merlot.org/>

²⁶ Sistema distribuido, que proporciona apoyo a la gestión para la recuperación y el consumo de recursos de aprendizaje heterogéneos.

²⁷ Disponible en: <http://www.edutella.org/edutella.shtml>

Es un proyecto cuyo objetivo es alcanzar la realización de una colección de materiales. En él participan las universidades de Alberta, Calgary y Athabasca en cooperación con los sistemas BELLE y CANAIRE. En el repositorio CAREO los metadatos de cada OA están bien detallados, bajo los estándares LOM, CanCore (una adaptación canadiense de LOM). Muchos de los OA se pueden descargar en forma de paquete comprimido, pero el paquete no es estándar, porque no contiene los metadatos. Permite la interoperabilidad con otros repositorios, a través de la especificación IMS DRI (Hilera González, 2006).

En el **Anexo 12** se muestra la arquitectura del repositorio CAREO.

Como muestra la figura 11, la arquitectura del repositorio se basa en una estructura de 3 capas, un modelo cliente-servidor y está formada por tres componentes principales (Otón, 2006):

- La aplicación del repositorio: Realiza la búsqueda y acceso en el almacén de metadatos (en la capa de base de datos) para los usuarios y administradores. Presenta a los usuarios una interfaz HTML para la búsqueda y acceso a los registros de metadatos que describen y enlazan los OA. Para los administradores, la aplicación presenta una interfaz HTML para el mantenimiento de funciones (proporcionando control de calidad de los registros de metadatos y gestión de funciones particulares del repositorio).
- Los clientes o usuarios: Pueden subdividirse en tres grupos principales: estudiantes, profesores y administradores. Los usuarios acceden a los metadatos a través del repositorio CAREO, pero accederán a los objetos educativos distribuidos a través de un servicio web común. Exceptuando la conectividad en Internet, la única tecnología requerida por este grupo será un navegador web que cumpla los estándares generales.
- El almacén de metadatos: Está localizado en el mismo servidor en el que se encuentra la aplicación del repositorio. Está estructurado de acuerdo con el protocolo de metadatos de OA CanCore²⁸ que está basado en el estándar LOM.

El componente para el intercambio de metadatos del repositorio CAREO recopilará la colección de registros disponibles en otros repositorios, este componente realiza las operaciones necesarias (Conversión de metadatos) para que los metadatos estén expresados mediante el estándar CanCore.

²⁸ Disponible en: <http://www.cancore.net/>

Muchos de los OA que posee este repositorio pueden ser descargados por otro ROA en un fichero comprimido, pero en este fichero no se encuentran los metadatos. Lo que resulta un problema para la integración de dichos objetos a otro sistema puesto que es necesario por un lado descargar el contenido y por el otro los metadatos, para luego ensamblarlo todo.

El repositorio constituye uno de los más difundidos a nivel mundial pero no representa un modelo ideal en el campo de la interoperabilidad, por las deficiencias que presenta para publicar sus objetos y la no utilización de estándares de metadatos muy difundidos a nivel mundial (LOM y DC).

Como conclusión a este apartado se puede añadir que se han analizado un grupo de iniciativas de repositorios que constituyen modelos interoperables (AGREGA, ARIADNE, ELENA, CAREO); dichos sistemas presentan diferentes vías para intercambiar contenidos educativos pero no presentan modelos ideales para la realización del intercambio mencionado. Presentan limitaciones en cuanto a los estándares de descripción de metadatos para las búsquedas federadas y la recolección. Además de que algunos de ellos no realizan la búsqueda federada y la recolección al mismo tiempo.

Para la propuesta de la arquitectura en RHODA se debe tener en cuenta un modelo de interoperabilidad que abarque los estándares de metadatos más utilizados (LOM, DC), además de permitir la recolección de metadatos (OAI-PMH) y la búsqueda federada (SQL).

Comparación entre ROA interoperables:

A partir del estudio realizado a los diferentes ROA que constituyen sistemas interoperables se definieron un conjunto de elementos relacionados con la interoperabilidad para establecer si pueden o no interoperar con RHODA, éstos son:

- Estándar de catalogación utilizado por el ROA: Muestra mediante qué estándar describen sus OA.
- Recolección de metadatos mediante OAI-PMH: Expone si el ROA realiza o no la recolección de metadatos mediante OAI-PMH.
- Formato de los resultados en la recolección: Exhibe el formato en que devuelven los resultados en la recolección de metadatos.
- Conversión de metadatos: Si el repositorio realiza la conversión de los metadatos para poder interoperar y los lenguajes involucrados.

- Búsqueda federada con SQL: Expone si el ROA realiza o no la búsqueda federada mediante SQL.
- Lenguaje de consulta para la interfaz SQL: El lenguaje que establece para las consultas en las búsquedas federadas.
- Lenguaje de consulta para la base de datos: Lenguaje de consulta mediante el cual se busca en la base de datos para la búsqueda interna del repositorio.
- Utilización de wrapper: Si utiliza un mediador que realice la conversión de los lenguajes de consulta a la hora de realizar las búsquedas con SQL.
- Interoperabilidad con RHODA: Si puede en teoría interoperar con RHODA. Este punto en RHODA va a significar si puede interoperar con instancias de sí mismo.
- Búsqueda federada: Si el repositorio puede interoperar con RHODA a través de la búsqueda federada mediante el estándar SQL.
- Recolección de metadatos: Si el repositorio puede interoperar con RHODA a través de la recolección de metadatos mediante el protocolo OAI-PMH.

	AGREGA	ARIADNE	ELENA	CAREO	RHODA
Estándar de catalogación	LOM-ES	LOM	LOM	CanCore	LOM
Recolección de metadatos (OAI-PMH)	Si	No	No	No	Si
Formato de los resultados en la recolección	DC	-	-	-	DC
Conversión de metadatos	Si	-	-	-	Si
Búsqueda federada (SQL)	Si	Si	Si	Si	Si
Lenguaje de consulta (SQL)	-	VSQL	QEL	-	XQuery QEL VSQL
Lenguaje de consulta (Base de datos)	-	SQL	SQL	-	XQuery

Wrapper	-	Si	Si	-	Si
Interoperabilidad con RHODA	(RM, BF)	(BF)	(BF)	(BF)	(RM, BF)

Tabla 1: Comparación entre los ROA.

Después de realizar el análisis de la **Tabla 1** se puede concluir que la arquitectura de RHODA permite interoperar con todos los repositorios estudiados, inclusive con instancias del mismo. Solo puede realizar la recolección de metadatos en AGREGA e instancias del mismo, según el análisis realizado de las iniciativas. La búsqueda federada si es posible realizarla en todos los repositorios estudiados.

1.9. Arquitectura de software

Con el auge alcanzado en el campo de la informática se han venido desarrollando formas y guías generales para desarrollar los sistemas digitales, las cuales revelan la estructura, funcionamiento e interacción entre las partes del software; estas guías se conocen como AS. Esta detalla el diseño y especificación de la estructura global del sistema, sin tener en cuenta los algoritmos y estructuras de datos de la computación (Garlan, et al., 1994).

Existe una amplia gama de definiciones en cuanto a AS, estas en ocasiones difieren en cuanto a algunos aspectos pero todas tienen en común los siguientes aspectos (Billy, 2004):

- El trabajo dinámico de estipulación de la arquitectura dentro del proceso de ingeniería o el diseño (su lugar en el ciclo de vida).
- La configuración o topología estática de sistemas de software contemplada desde un elevado nivel de abstracción.
- La caracterización de la disciplina que se ocupa de uno de esos dos asuntos, o de ambos.

Sin duda una de las definiciones más acertadas y que para muchos es la oficial constituye la presentada por la IEEE y adoptada también por Microsoft, que plantea que “la Arquitectura de Software es la organización fundamental de un sistema encarnada en sus componentes, las relaciones entre ellos y el ambiente y los principios que orientan su diseño y evolución”.

Aspectos fundamentales:

Una arquitectura de software debe tener en cuenta los siguientes aspectos (Billy, 2004):

- **Estilo:** Hace referencia al estilo de arquitectura, que no es más que la forma de articulación u organización arquitectónica.
- **Lenguajes de descripción arquitectónica:** Los lenguajes de descripción de arquitecturas (ADLs), estos permiten modelar una arquitectura antes que se lleve a cabo el desarrollo del sistema, analizar su adecuación, determinar sus puntos críticos y simular su comportamiento.
- **Vistas:** Constituyen un subconjunto resultante de practicar una selección o abstracción sobre una realidad, desde un punto de vista determinado. Solo muestra un breve panorama sin llegar a adentrarse en el desarrollo detallado de los elementos.

La presente investigación tiene como objetivo principal proponer la arquitectura de RHODA para que pueda interoperar con otros ROA. Esta arquitectura estará centrada solamente en los temas relacionados con la interoperabilidad, por lo que no es necesario mostrar las vistas de todos componentes del sistema, solo una vista general del mismo, para luego especificar el subsistema de interoperabilidad.

Conclusiones parciales

En el capítulo que recién concluye se realizó un estudio acerca de los principales elementos relacionados con el e-learning, destacándose los ROA. Dentro de estos se analizaron los OA como el tipo de información que contienen. Además fueron abordadas sus clasificaciones de acuerdo a la forma en que almacenan los OA y sus metadatos. En cuanto a las funciones se destaca la búsqueda, como vía principal para acceder a los OA. Se analizó la interoperabilidad, definiendo el enfoque federado como el idóneo para lograr que un sistema sea interoperable.

Se trataron las federaciones de los ROA y las búsquedas que se realizan entre los repositorios que componen dichas federaciones. También se analizaron las especificaciones y estándares que permiten la realización de este tipo de búsqueda. Se pudo concluir que los estándares más utilizados en las propuestas estudiadas son: IMS DRI como base de la arquitectura y los estándares OAI-PMH y SQL para desarrollar las funciones de recolección de metadatos y búsqueda federada respectivamente.

CAPÍTULO 2: DESARROLLO DE LA PROPUESTA:

Introducción

El presente capítulo tiene como objetivo principal proponer la arquitectura de RHODA, la cual estará centrada principalmente en lograr la interoperabilidad con otros ROA y donde se exponen las vistas principales de la arquitectura, haciendo un análisis profundo de la interoperabilidad con otros ROA. Por último se realiza una autoevaluación para la arquitectura propuesta. Para el desarrollo de dicha arquitectura se toma como referencia la “Guía para la especificación de la línea base de la arquitectura del software” definida por el Grupo de Desarrollo Tecnológico de la Dirección Técnica perteneciente a la Universidad de la Ciencias Informáticas, orientada a las arquitecturas de los sistemas desarrollados en la universidad.

2.1. Vistas de Arquitectura de Tecnología

En este epígrafe se hace referencia a los siguientes aspectos relacionados con las tecnologías utilizadas para el desarrollo de RHODA y la seguridad que se debe tener en cuenta para lograr la interoperabilidad.

2.1.1. Entorno de desarrollo tecnológico

- Tecnología Sistema Operativo: El sistema operativo a utilizar en el sistema es el (Ubuntu 10.04²⁹, Debian³⁰) puesto que son distribuciones libres con una gran comunidad de desarrolladores y usuarios (Linux, 2011).
- Tecnología Gestor de Base de Datos: Se utiliza PostgreSQL 9.0³¹ para el desarrollo de la base de datos relacional, puesto que es un sistema de gestión de base de datos relacional orientada a objetos y libre, publicado bajo la licencia BSD³², además cuenta con una comunidad de desarrolladores que trabajan de forma desinteresada. PostgreSQL utiliza un modelo cliente/servidor y usa multiprocesos en vez de multihilos para garantizar la estabilidad del sistema.

²⁹ Disponible en: <http://www.ubuntu.com/>

³⁰ Disponible en: <http://www.debian.org/>

³¹ Disponible en: <http://www.postgresql.org/>

³² Disponible en: <http://www.opensource.org/licenses/bsd-license.php>

Un fallo en uno de los procesos no afectará el resto y el sistema continuará funcionando (Postgresql, 2008).

Para la base de datos XML se propone emplear el servidor de base de datos eXist 1.4. Es un sistema de gestión de bases de datos libre y de código abierto que almacena datos XML de acuerdo a un modelo de datos XML. Algunas de sus características son: soporte para distintos lenguajes de consultas XML como por ejemplo XQuery, indexación de documentos y soporte para la actualización de los datos y para multitud de protocolos como por ejemplo SOAP y en la actualidad cumple el estándar XQuery casi en su totalidad (Exist, 2009).

- Tecnología de Mapeo Objeto - Relación (ORM): Se propone utilizar Propel 1.5 puesto que es un ORM clásico de Symfony. Su principal ventaja es que está completamente integrado con este framework y que decenas de plugins solo funcionan para Propel (Propel, 2006).
- Tecnología Lenguaje de Programación Nivel Negocio: El lenguaje utilizado es PHP 5³³, puesto que es un eficiente lenguaje de programación interpretado, que puede ser desplegado en la mayoría de los servidores web y en casi todos los sistemas operativos y plataformas sin costo alguno. Da soporte a base de datos como por ejemplo PostgreSQL (Alvarez, 2001).
- Tecnología Ambiente Integrado de Desarrollo (IDE): El entorno de desarrollo propuesto para la implementación de RHODA es el Netbeans 6.9³⁴, es un proyecto de código abierto de gran éxito, con una comunidad en constante crecimiento, además constituye un producto libre y gratuito sin restricciones de uso (Netbeans, 2007).
- Tecnología Marco de Trabajo para el Desarrollo: Se propone Symfony 1.4³⁵ que es un framework muy completo diseñado para optimizar el desarrollo de las aplicaciones web, está desarrollado en PHP y es compatible con el gestor de bases de datos PostgreSQL (Eguíluz Pérez, 2008).
- Tecnología Modelado: Se adoptó Visual Paradigm for UML 6.4 Enterprise Edition³⁶ como tecnología de modelado puesto que es una herramienta profesional que soporta el ciclo de vida

³³ Disponible en: <http://www.php.net/>

³⁴ Disponible en: <http://www.netbeans.org/>

³⁵ Disponible en: <http://www.symfony-project.org/>

³⁶ Disponible en: <http://www.visual-paradigm.com/product/vpuml/>

completo del desarrollo de software y permite diagramar cada una de sus fases. Presenta licencia gratuita y comercial. Es fácil de instalar y actualizar y compatible entre ediciones (Valdez Altamirano, 2009).

- Tecnología Versionado: Se propone la tecnología de Subversión para poder llevar un control de versiones de todos los artefactos desarrollados.
- Tecnología Servidores de Aplicaciones: Se propone utilizar el servidor Apache³⁷, que constituye un servidor web de código abierto para plataformas como Linux, es modular, de código abierto, extensible y muy popular, tanto que es considerado el servidor web más utilizado (Apache, 2011).

2.1.2. Seguridad

Esta vista se desarrolla con el objetivo de lograr la interoperabilidad de manera segura, por lo que hay que tener en cuenta que en este proceso se interactúa con sistemas externos, los cuales se debe asumir que son sistemas inseguros. A continuación se muestran los principales aspectos a tener en cuenta para elaborar los requisitos relacionados con la seguridad:

- Se debe tener en cuenta la seguridad para todos los ROA con los cuales se va a interoperar.
- Es necesario proteger todos los OA almacenados en RHODA cuando se acceda a ellos desde otro sistema, por lo que se deben conceder los permisos básicos (visualizar registro de metadatos).
- El administrador del sistema es el único encargado de configurar todos los aspectos relacionados con la seguridad.
- Se hará uso del estándar WS Security para el envío de los registros de metadatos a través de los servicios web.
- Para todos los accesos a la base de datos se debe utilizar Propel para eliminar las inyecciones SQL.
- Para las autenticaciones en caso de realizarse se debe utilizar el protocolo seguro HTTPS.

³⁷ Disponible en: <http://www.apache.org/>

2.2. Vistas de Arquitectura de Sistema

En este apartado se muestran los aspectos principales del sistema.

2.2.1. Paquetes o subsistemas principales de la solución

En esta vista se presentan los paquetes o subsistemas principales presentes en RHODA, estos contienen a su vez los módulos que constituyen las funcionalidades principales. A continuación se muestra el diagrama de paquetes de RHODA, destacar que solo se hará énfasis en los elementos relacionados con la interoperabilidad.

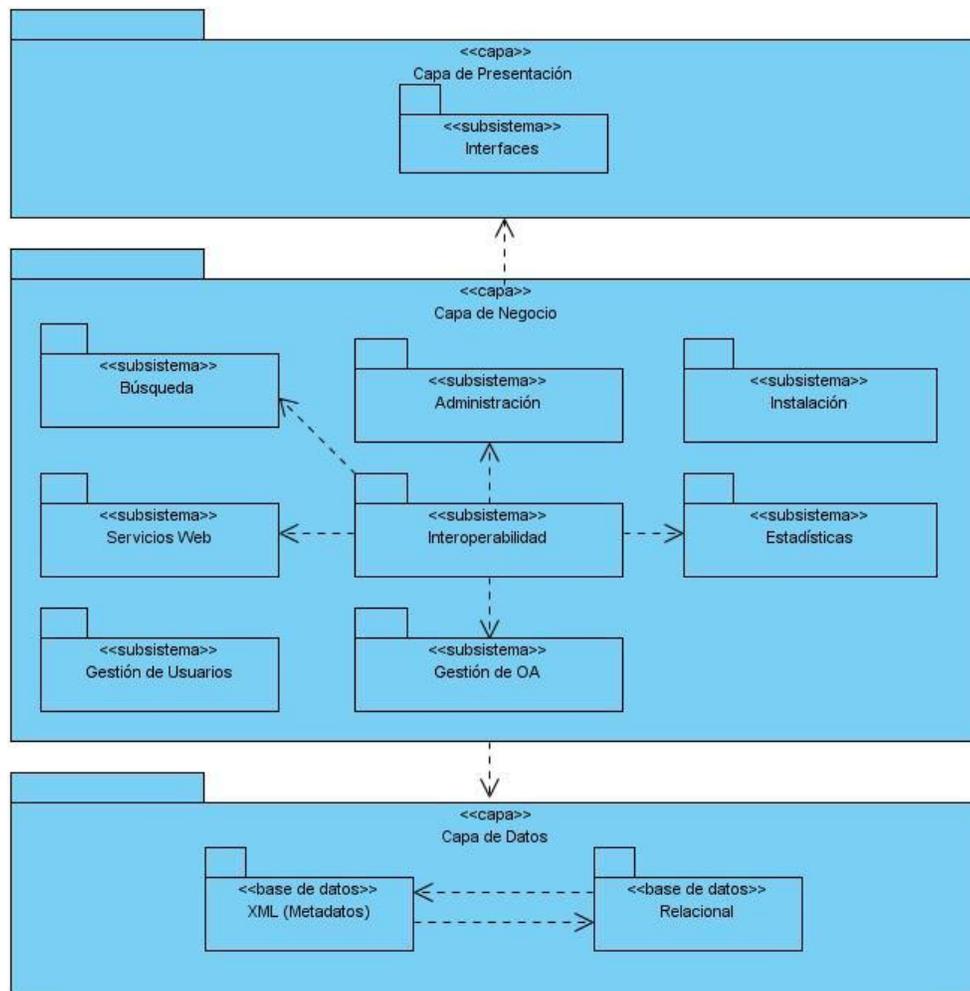


Figura 11. Vista de organización por paquetes de los subsistemas principales de la solución.

Como se muestra en la figura 11 la arquitectura de RHODA está compuesta por los siguientes:

- Capa de Presentación:
 - Subsistema de interfaces: Esta subsistema contiene todas las interfaces de la aplicación. Más adelante solo se hará énfasis en las interfaces relacionadas con la interoperabilidad.
- Capa de Negocio:
 - Subsistema Interoperabilidad: Encargado de lograr la interoperabilidad con otros ROA a través de la recolección de metadatos y la búsqueda federada, contiene los siguientes elementos principales:
 - Módulo OAI-PMH: Encargado de realizar la recolección de metadatos mediante el protocolo OAI-PMH.
 - Módulo SQL: Encargado de realizar la búsqueda federada mediante el estándar SQL.
 - Subsistema Búsqueda:
 - Módulo Búsqueda simple: Se buscan los OA mediante una coincidencia parcial de la frase introducida con el título, la descripción o alguna de sus palabras claves.
 - Módulo Búsqueda avanzada por contenidos: Se buscan los OA a través de una coincidencia parcial de la frase introducida con alguno de los contenidos pertenecientes al OA
 - Módulo Búsqueda avanzada por metadatos: Se seleccionan los metadatos para la búsqueda y se introduce la frase para cada uno de ellos, luego se buscan los OA mediante una coincidencia parcial de la frase introducida para cada metadato con el valor de este. Añadir para este tipo de búsqueda que se le agregarán los registros de metadatos recolectados a través de la recolección de metadatos.
 - Indexador: Encargado de realizar la indexación para todos los tipos de búsqueda.
 - Subsistema Administración: Responsable de la administración del sistema.
 - Módulo Seguridad: Responsable de la seguridad del sistema.
 - Módulo Configuración: Relacionado con la configuración del sistema.

- Subsistema Instalación: Permite la instalación del sistema.
- Subsistema Gestión de Usuarios: Procurador de la gestión de los usuarios del sistema.
 - Módulo Mensajería: Se encarga de la mensajería interna entre los usuarios del sistema.
 - Módulo Gestión de roles: Responsable de la gestión de los roles de los usuarios en el sistema.
 - Módulo Administración de usuarios: Encargado de la gestión de los usuarios.
- Subsistema Estadísticas: Procurador de todos los datos que representan estadísticas de acciones realizadas en el sistema.
- Subsistema Gestión de OA: Encargado de todo el proceso que se realiza en el sistema relacionado con los OA, destacando los siguientes módulos:
 - Creación de OA.
 - Edición.
 - Visualización.
 - Gestión de categorías.
 - Revisión de OA.
 - Control de versiones.
 - Administración de OA.
 - Gestión de OA publicados.
 - Workflow.
- Subsistemas de Servicios Web: Se encarga de publicar como servicios web todas las funcionalidades del sistema que necesiten ser publicadas para que puedan ser accesibles a otros sistemas.

2.2.1.1. Subsistema interoperabilidad

Es este apartado se muestran las vistas relacionadas con el subsistema de interoperabilidad por la importancia que revierte para la investigación. Seguidamente se muestra la vista de dicho subsistema para un mayor entendimiento:

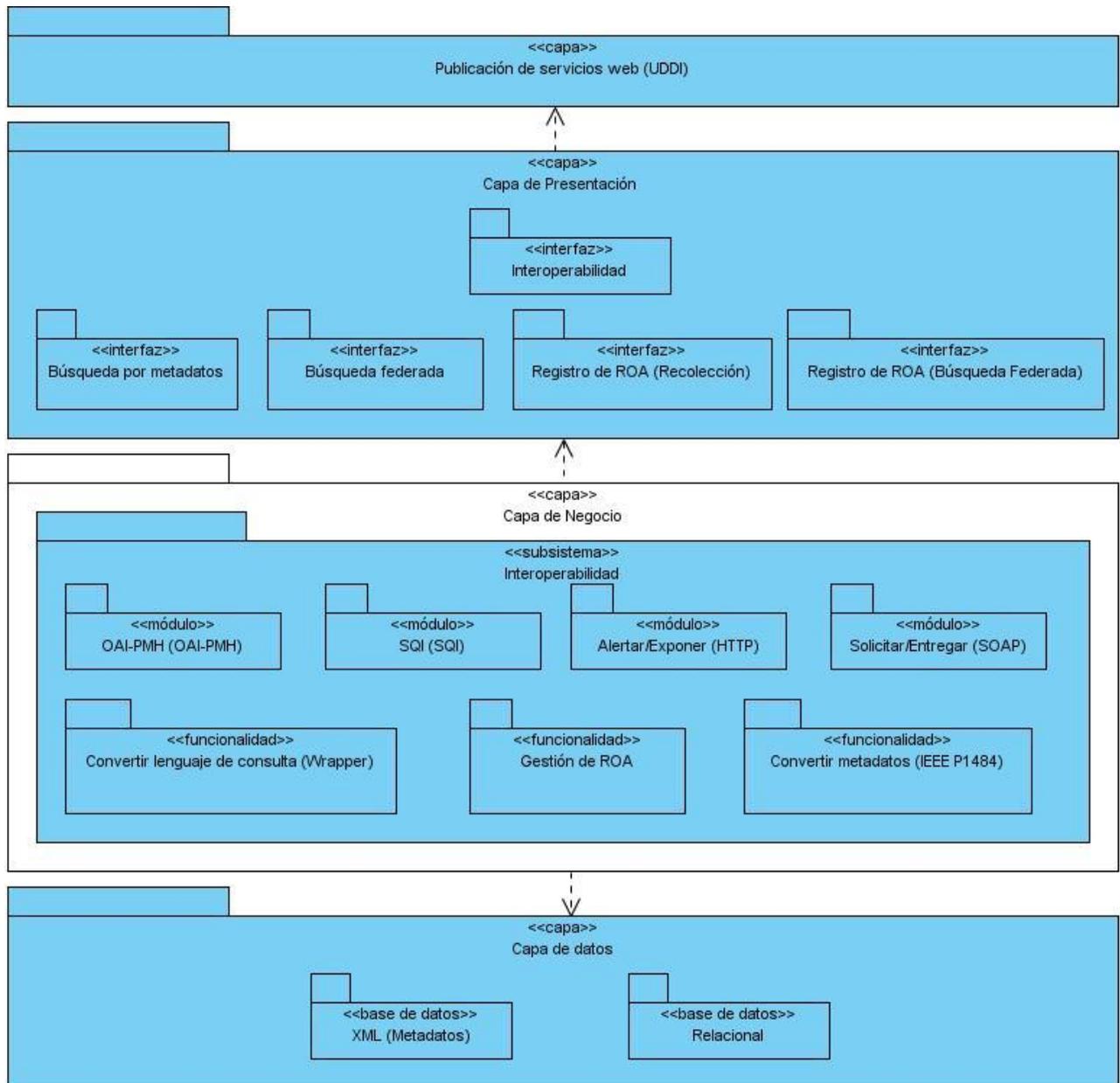


Figura 12. Vista del subsistema interoperabilidad.

Como se muestra en la figura el subsistema está compuesto por:

- Módulo OAI-PMH: Responsable de realizar la recolección de metadatos.
- Módulo SQI: Procurador de la búsqueda federada en RHODA.
- Módulo Alertar/Exponer: Se ocupa de alertar a otros sistemas y a sus usuarios de los nuevos eventos ocurridos en RHODA.
- Módulo Solicitar/Entregar: Se encarga de solicitar y entregar el registro completo de metadatos de un OA a través de servicios web. Estos contenidos son localizados a partir de la búsqueda federada y la recolección de metadatos.
- Convertir metadatos: Esta funcionalidad se encarga de recibir los metadatos en un formato de catalogación (LOM, DC) y convertirlo a otro (LOM, DC). Para desarrollar dicha función se usa el estándar IEEE P1484.
- Gestión de ROA: Funcionalidad encargada de gestionar los ROA donde se realizarán las búsquedas federadas y la recolección de metadatos.
- Convertir lenguajes de consulta: Esta funcionalidad permite la conversión de lenguajes de consulta para las búsquedas federadas. Convierte el lenguaje de consulta establecido para la consulta SQL (VSQL, QEL) al lenguaje de consulta empleado en la base de datos (XQuery) para poder acceder a los metadatos en la base de datos (XML). La función se realiza a través de un wrapper o mediador.

Módulo OAI-PMH

El módulo OAI-PMH es el encargado de realizar la recolección de los metadatos pertenecientes a otros ROA. A continuación se muestra una vista general de este:

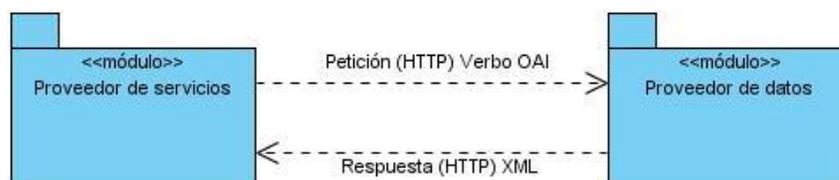


Figura 13. Vista general del subsistema OAI-PMH.

Como se muestra en la **Figura 13** el módulo OAI-PMH contiene dos componentes principales: el proveedor de datos y el de servicios, los que intercambian la información a través del protocolo HTTP, donde el proveedor de servicios envía una petición según define el protocolo OAI-PMH y a la cual responde el proveedor de datos con los resultados en formato XML. A continuación se especifican cada de uno de estos participantes:

- **Proveedor de datos:**

Según define el protocolo OAI-PMH el proveedor de datos constituye un administrador de contenidos que soporta el protocolo OAI y representa un medio para la exposición de metadatos. Para crear un proveedor de datos en RHODA se crea una interfaz dentro del sistema mediante el protocolo OAI-PMH que le permita a un repositorio recibir las peticiones basadas en dicho protocolo, emitidas por un proveedor de servicios. Dicha interfaz luego de recibir la petición, consulta en la base de datos, y genera una respuesta a la petición. A continuación se muestra la vista del proveedor de datos:

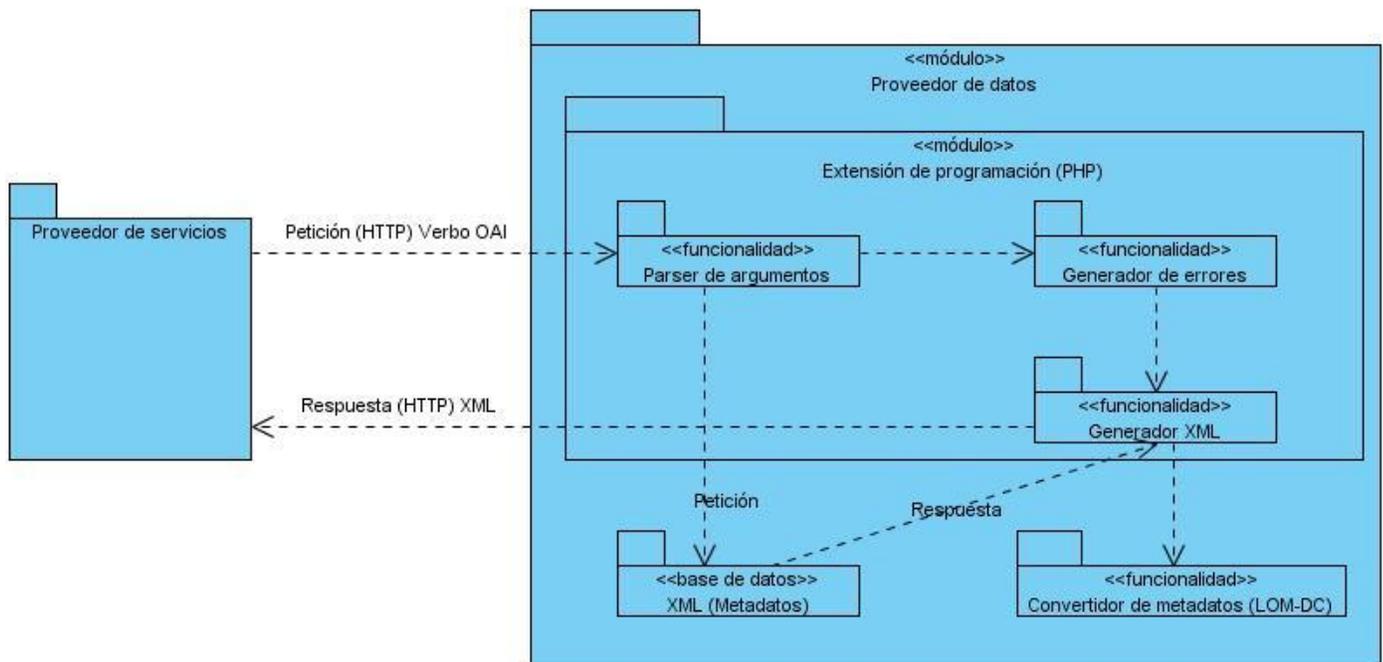


Figura 14. Vista del proveedor de datos.

Como se muestra en la figura el proveedor de datos de RHODA está compuesto por:

- Parser de argumentos: Para validar las peticiones.
- Generador XML: Para crear las respuestas.
- Generador de errores: Generar repuestas de error.
- Acceso a la base de datos: Para extraer los metadatos que coinciden con la petición.
- Convertidor de metadatos: Para convertir metadatos a DC.

Como se muestra en la **Figura 14** se obtiene una petición del proveedor de servicios mediante el protocolo OAI-PMH por HTTP, esta petición se parsea para ver si está correcta, en caso de estarlo se consulta en la base de datos para obtener la respuesta a dicha consulta y por último se genera la respuesta XML que se envía por HTTP al proveedor de servicios, para generar esta respuesta es necesario convertir los metadatos a DC para poder exponerlos puesto que el protocolo especifica que deben ser descritos por DC. En caso de que la petición no sea correcta se genera una respuesta de error y se envía hacia el proveedor de servicio.

El proveedor de datos estará ubicado en la siguiente dirección:

- <http://roa.uci.cu/oai>
- **Proveedor de servicios:**

En RHODA se debe implementar un proveedor de servicios para que realice la operación de recolección de metadatos de OA publicados por otro ROA. Este proceso se realiza según muestra la figura.

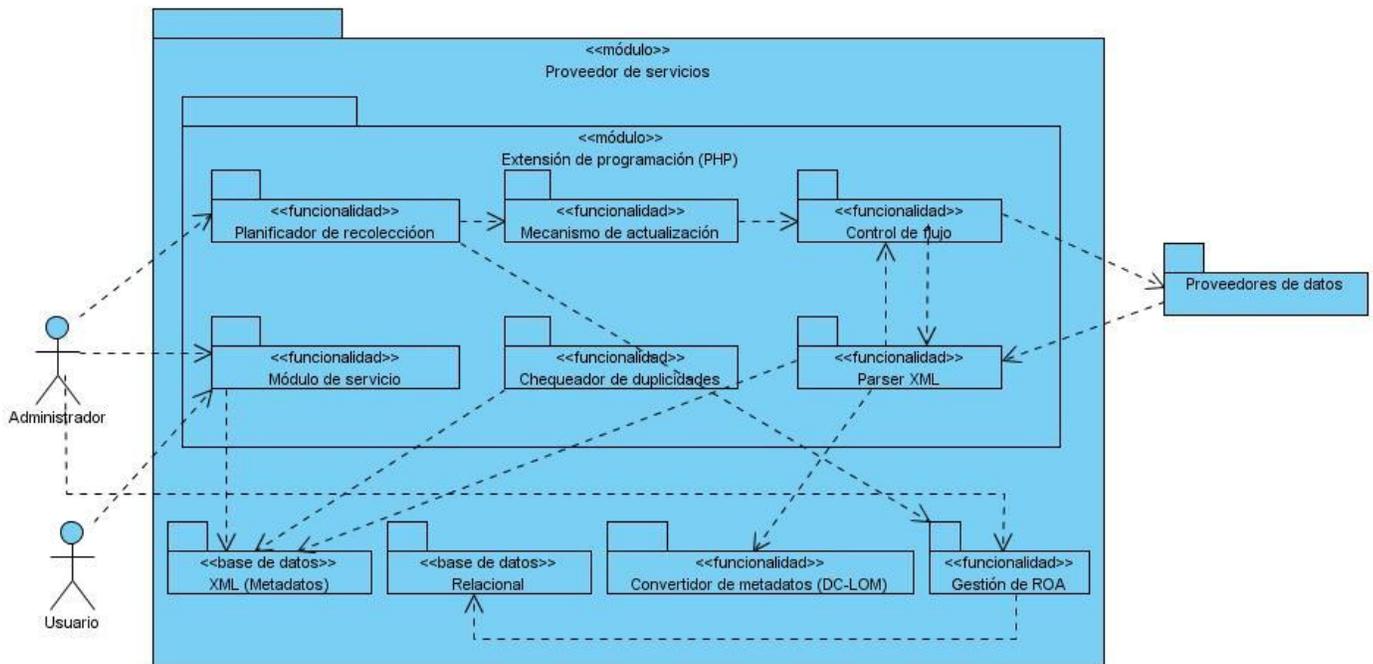


Figura 15. Vista del proveedor de servicios.

Como se muestra en la **Figura 15** el proveedor de servicios de RHODA está compuesto por:

- Planificador de recolección: Se encarga de planificar la periodicidad de la recolección y a los repositorios a los cuales se le realizará a través de la gestión de los ROA que publican sus contenidos mediante OAI-PMH.
- Mecanismo de actualización: Mecanismo encargado de actualizar el proceso.
- Control de flujo (Resumption Token): Encargado de completar las listas de resultados que se envíen incompletas.
- Parser XML: Parsear la respuesta XML, parsear la conversión de metadatos y enviarla a la base de datos.
- Chequeador de duplicidades: Se encarga de buscar en la base de datos los registros repetidos.
- Módulo de servicio: Se encarga de exponer a los usuarios de RHODA los resultados de la recolección de metadatos. Esto se hace a través de las búsquedas internas del sistema, específicamente la búsqueda por metadatos.

Como se muestra en la figura el administrador es el encargado de la planificación de la recolección, que va a permitir que el mecanismo de actualización la active según dicha planificación. La respuesta va a ser recibida por el parser XML que se encarga de verificar si está bien, además parsea la respuesta después de la conversión de los metadatos para luego enviarla a la base de datos XML, para que los registros de metadatos sean localizados por los usuarios del sistema mediante la búsqueda por metadatos.

Módulo SQI

El módulo SQI es el encargado de realizar las búsquedas federadas. A continuación se muestra la vista de dicho módulo, donde se resaltan las interfaces presentes en el mismo:

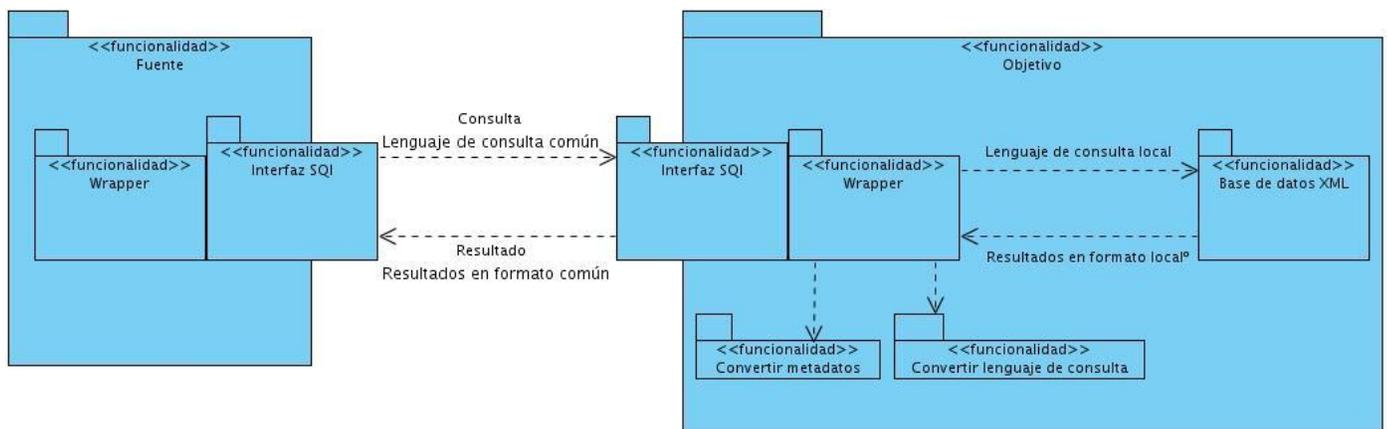


Figura 16. Interfaces SQI para RHODA

Como se muestra en la figura el módulo SQI presenta dos interfaces diferentes:

- **Interfaz fuente (source):**

La interfaz fuente es la que le va a permitir a RHODA buscar los metadatos de los OA pertenecientes a otros ROA. Realiza consultas al objetivo mediante un lenguaje común (XQuery, QEL, VSQL) y recibe los resultados en un formato establecido por la fuente y el objetivo (LOM). Contiene además un wrapper que es el encargado de convertir el lenguaje de consultas definido para la búsqueda federada (QEL, VSQL) al lenguaje de consulta utilizado para buscar en la base de datos XML (XQuery). El wrapper además realiza la conversión de los metadatos del formato establecido para los resultados (DC) al estándar (LOM).

La fuente publica el siguiente servicio para una consulta en modo asíncrono:

- queryResultsListener: Este método desarrollado por la fuente le permitirá recibir los resultados de una consulta enviada por el modo asíncrono.

La fuente es la encargada de hacer uso de los métodos que publica el objetivo como servicios, para realizar las acciones correspondientes a una fuente en el estándar SQL, según se explican anteriormente. A continuación se muestran las especificidades para RHODA en cada una de las funciones mencionadas:

Deficiones de RHODA(source) para consumir los servicios del objetivo.	
Parámetros de configuración de la consulta	
setQueryLanguage	(XQuery, QEL, VSQL)
setResultsFormat	LOM, DC
setMaxQueryResults	Se recomienda que sea 0 para que no exista límite en la cantidad de resultados.
setMaxDuration	Se recomienda que sea un tiempo considerable, para prever cualquier error que demore la entrega de los resultados.
Interfaz de consulta sincrónica	
setResultsSetSize	Se recomienda que sea un número no muy grande para no provocar sobrecarga en la red con cada uno de los envíos realizados por el objetivo.
synchronousQuery	Se establece un modo síncrono con el objetivo, donde primero se establece la sesión y se autentica la fuente en este caso RHODA, luego se envía la consulta y por último se obtienen los resultados según los parámetros de configuración establecidos.
getTotalResultsCount	Retorna la cantidad de resultados devueltos por el objetivo.
Interfaz de consulta asincrónica	
asynchronousQuery	Se establece un modo asíncrono con el objetivo, donde primero se

	establece la sesión y se autentica la fuente en este caso RHODA, luego se envía la consulta y el identificador de la misma para que el objetivo conozca cual consulta debe responder en cada caso; por último se obtienen los resultados según los parámetros de configuración establecidos.
setSourceLocation	Se establece la ubicación de la fuente para realizar los envíos.

Tabla 2: Servicios que consume la fuente para la búsqueda federada.

- **Interfaz objetivo (target):**

La interfaz objetivo permite que otros repositorios puedan realizar búsquedas federadas en RHODA a través del estándar SQL. Como se muestra en la figura 16 recibe una consulta de parte de la interfaz fuente en el formato definido (QEL, VSQL) y la convierte por medio del wrapper al lenguaje XQuery para buscar en la base de datos XML. Luego genera la respuesta en el formato acordado con la fuente (LOM, DC) si es DC el wrapper convierte los resultados obtenidos de la base de datos en el estándar LOM a DC.

El objetivo publica los siguientes servicios para exponer los métodos definidos por el estándar SQL para las búsquedas:

Definiciones de la interfaz objetivo de RHODA para publicarle los servicios a la fuente.	
Parámetros de configuración de la consulta	
setQueryLanguage	Solo acepta los lenguajes XQuery, QEL, VSQL.
setResultsFormat	LOM, DC
setMaxQueryResults	Permite que la fuente establezca el número máximo que desea recibir.
setMaxDuration	Permite que la fuente establecer el tiempo de espera de los resultados en caso de una consulta asíncrona.
Interfaz de consulta sincrónica	

setResultsSetSize	Permite a la fuente definir el número de resultados que serán retornados en un conjunto de resultados.
synchronousQuery	Se establece un modo síncrono con la fuente, donde primero se establece la sesión y se autentica la fuente, luego se recibe la consulta y por último se envían los resultados según los parámetros de configuración establecidos.
getTotalResultsCount	Retorna la cantidad de resultados enviados.
Interfaz de consulta asincrónica	
asynchronousQuery	Se establece un modo asíncrono con la fuente, donde primero se establece la sesión y se autentica la fuente, luego se envía la consulta y el identificador de la misma para que el objetivo conozca cuál consulta debe responder en cada caso por último se envían los resultados según los parámetros de configuración establecidos.
setSourceLocation	Permite establecer a la fuente su ubicación para poderle enviar los resultados.

Tabla 3: Servicios que publica RHODA en su interfaz Objetivo para las búsquedas federadas.

Solo consume el servicio que publica la fuente para una consulta asíncrona, el oyente de resultados (queryResultsListener) que le permite enviar los datos a la consulta.

En RHODA la interfaz no contiene ningún estado lo que provoca que se descarten los resultados de la consulta tan pronto estos son enviados a la fuente.

2.2.2. Servicios web en el subsistema de interoperabilidad

Para lograr la interoperabilidad es necesaria la publicación de servicios web que permitan a los ROA acceder a las funciones que publican sus homólogos para realizar el intercambio de la información. En RHODA se publican un conjunto de servicios que le permiten publicar la información del repositorio. En la siguiente figura se muestran los servicios web publicados en RHODA:

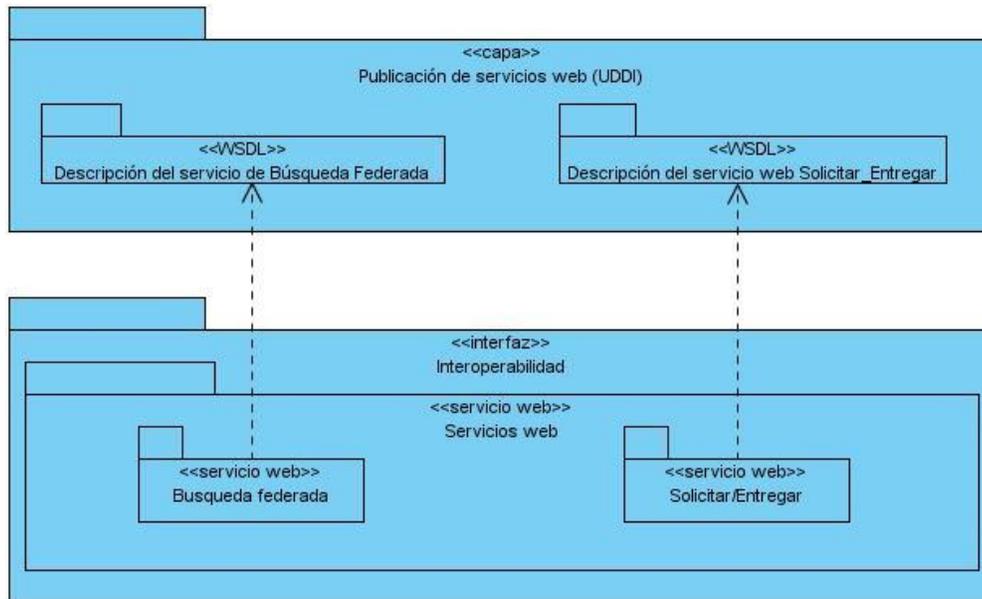


Figura 17: Servicios web para la interoperabilidad en RHODA.

Como se muestra en la figura el subsistema de servicios web publica los servicios:

- **Búsqueda federada:** Servicio encargado de publicar los servicios que exponen las interfaces SQL presentes en RHODA (fuente y objetivo). La descripción (WSDL) de este servicio contiene los siguientes elementos:
 - sqiFault.wsdl: Describe el sistema de gestión de faltas desarrollado por el sistema.
 - sqiSessionManagement.wsdl: proporciona un ejemplo de un posible servicio del manejo de sesiones de un objetivo.
 - sqiTarget.wsdl: Describe la interfaz SQL de un objetivo.
 - sqiSource.wsdl: Describe la interfaz SQL de una fuente.
- **Solicitar/Entregar:** Este servicio brinda la posibilidad de recuperar el registro completo de metadatos de un OA. Entregar va a permitir a un usuario acceder a dicho registro contenido en RHODA después de haberlo localizado a través de la búsqueda federada o la recolección de metadatos. Para solicitar un registro solo se debe consumir el servicio que publica el repositorio que lo contiene. La descripción (WSDL) de este servicio contiene:
 - Ruta de acceso: URL del servicio.
 - Parámetros a proporcionar: Descripción de lo que realiza el servicio.

Los servicios web mencionados anteriormente son publicados a través de una UDDI que debe contener la descripción de dichos servicios. La publicación a través de una UDDI posibilita publicar una descripción del servicio (WSDL). Además facilita que cuando ocurran cambios en el servicio solo haya que modificar los datos necesarios en la descripción, no todos.

2.2.3. Requisitos generales del subsistema de Interoperabilidad

Esta vista muestra los requisitos funcionales que impactan la arquitectura del subsistema Interoperabilidad, los que constituyen la esencia del negocio de la organización cliente, la columna vertebral de la solución. A continuación se muestran los requisitos mencionados:

- Realizar búsquedas federadas: El sistema debe permitir que el usuario realice búsquedas en cualquiera de los ROA registrados para la búsqueda federada. Se pueden seleccionar tantos como se desee. Además se pueden seleccionar los metadatos para la búsqueda. El usuario debe llenar los campos de los metadatos seleccionados.
- Realizar la recolección de metadatos: El sistema debe permitir al administrador del sistema realizar la recolección de metadatos según defina, para esto se deben seleccionar los repositorios donde se va a recolectar y la petición que se desea realizar. Los resultados devueltos van a tributar a la búsqueda por metadatos del sistema.
- Publicar los contenidos: Permite publicar los metadatos de los OA a través de la interfaz objetivo de la búsqueda federada o el proveedor de datos de la recolección. Además permite el acceso al registro completo de los metadatos por intermedio del servicio web Solicitar/Entregar.
- Convertir los metadatos: Permite la conversión de los metadatos para la realización de la búsqueda federada y la recolección de los metadatos.
- Convertir lenguaje de consulta: Permite convertir los lenguajes de consulta para la búsqueda federada.
- Gestionar los ROA: Permite registrar, editar, mostrar y eliminar los ROA en los cuales se pueden realizar las búsquedas federadas y la recolección de los metadatos.
- Solicitar un registro completo de metadatos de un OA localizado a través de la búsqueda federada o la recolección de metadatos: Permite solicitar a un registro de metadatos a través de la búsqueda federada y la recolección de metadatos.

- Entregar un registro completo de metadatos de un OA localizado a través de la búsqueda federada o la recolección de metadatos: Permite el acceso a un registro de metadatos a través de la búsqueda federada y la recolección de metadatos.
- Alertar a usuarios de otros ROA a través de correos electrónicos: Permite informar a los sistemas y usuarios que interoperan con RHODA.

2.2.4. Datos

Vista de los datos es una de las vistas principales de la arquitectura y adquiere su importancia por su impacto en los parámetros de disponibilidad y rendimiento de las aplicaciones. Se divide para su análisis en las siguientes subsecciones:

- Clasificación de la información que se desea almacenar: Se desea almacenar metadatos en formato XML, provenientes de otros ROA. La cantidad de la información se estima que sea grande.
- Modelo de datos internos: Una base de datos XML que se encarga de almacenar los metadatos de los OA y una base de datos relacional para almacenar la información relacionada con las demás entidades definidas en el repositorio. Relacionado con la interoperabilidad se tienen unas tablas para los ROA que constituyen fuentes para la búsqueda federada y la recolección de metadatos.

2.2.5. Estilos Arquitectónicos a emplear que contribuyen a la integración entre las soluciones

Se emplea el estilo arquitectónico Modelo Vista Controlador (MVC) (Catalani, 2007):

- El Modelo es el objeto que representa los datos del programa. Maneja los datos y controla todas sus transformaciones. El Modelo no tiene conocimiento específico de los controladores o de las Vistas, ni siquiera contiene referencias a ellos. Es el propio sistema el que tiene encomendada la responsabilidad de mantener enlaces entre el Modelo y sus Vistas, y notificar a las Vistas cuando cambia el Modelo.
- La Vista genera una representación visual del Modelo y muestra los datos al usuario. Interactúa con el Modelo a través de una referencia al propio Modelo.
- El Controlador es el objeto que proporciona significado a las órdenes del usuario, actuando sobre los datos representados por el Modelo. Cuando se realiza algún cambio, entra en acción, bien sea

por cambios en la información del Modelo o por alteraciones de la Vista. Interactúa con el Modelo a través de una referencia al propio Modelo.

2.2.6. Estándar de codificación

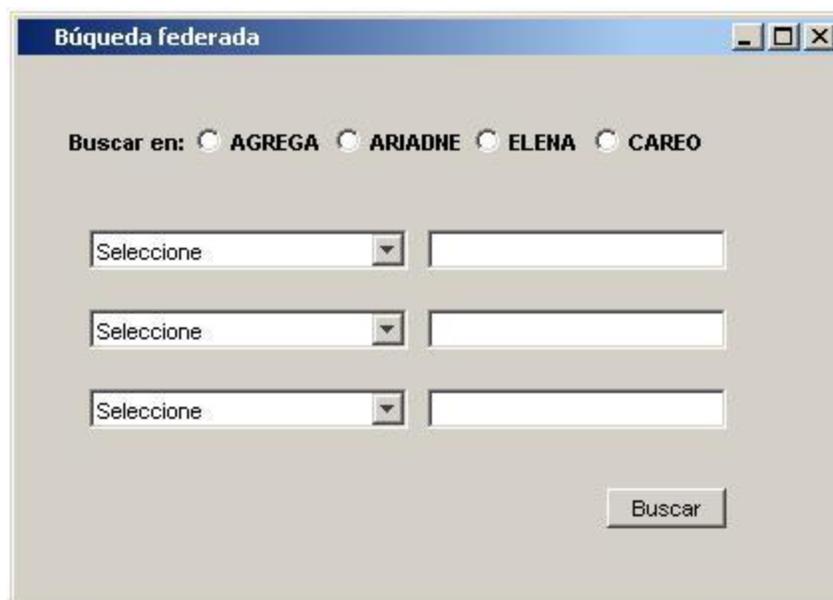
El estándar de codificación debe permitir una ejecución eficiente (uso mínimo de recursos de tiempo y memoria), fácil de leer y comprender, fácil de depurar y fácil de mantener. Para RHODA se utiliza ES DT Estándar de codificación para PHP.

2.2.7. Pantallas definidas para la interoperabilidad

Para poder acceder a una funcionalidad del sistema se debe desarrollar una interfaz que permita la interacción. Para acceder a las funciones que brinda el subsistema de interoperabilidad se han definido un conjunto de interfaces que se muestran a continuación:

- **Búsqueda federada:**

Para realizar la búsqueda federada se debe definir la interfaz que permita llevar a cabo esta acción, permitiendo a cada usuario la realización de las búsquedas en los ROA registrados de donde va a recibir los metadatos de los OA, los cuales brindan la posibilidad de acceder al registro completo. En la interfaz el usuario selecciona de los ROA disponibles para la búsqueda en los cuales desea buscar. A continuación se muestra dicha interfaz:



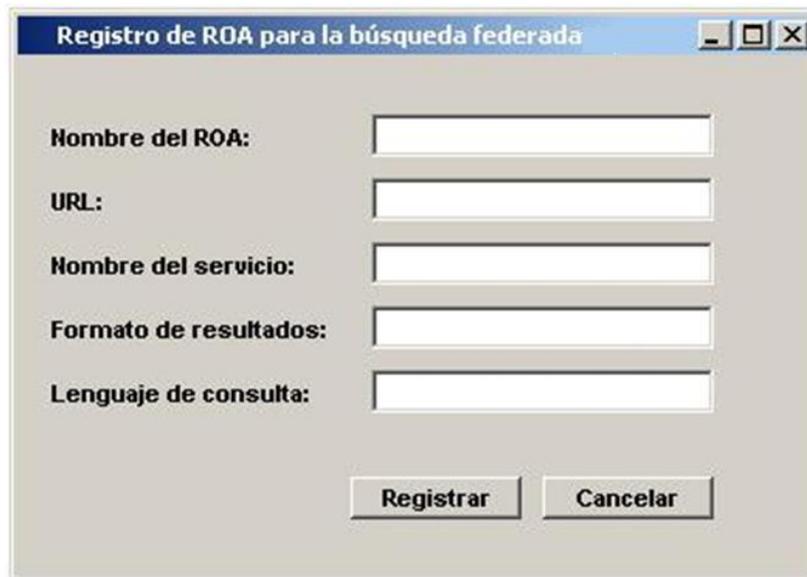
The screenshot shows a web application window titled "Búsqueda federada". At the top, there are four radio buttons for selecting a search engine: "AGREGA", "ARIADNE", "ELENA", and "CAREO". Below the radio buttons, there are three rows of search input fields. Each row consists of a dropdown menu with the text "Seleccione" and a text input field. At the bottom right of the form, there is a button labeled "Buscar".

Figura 18: Interfaz de búsqueda federada.

En la interfaz de interoperabilidad el usuario debe seleccionar los ROA donde desea buscar, los metadatos e introducir los términos para dichos tipos de datos.

- **Registro de ROA para la búsqueda federada:**

Se debe registrar un ROA para la realización de las búsquedas federadas puesto que este registro asegura el acceso al repositorio. A continuación se muestra la interfaz para registrar un ROA:



La imagen muestra una ventana de diálogo con el título "Registro de ROA para la búsqueda federada". Dentro de la ventana, hay cinco campos de texto etiquetados como "Nombre del ROA:", "URL:", "Nombre del servicio:", "Formato de resultados:" y "Lenguaje de consulta:". Debajo de los campos, hay dos botones: "Registrar" y "Cancelar".

Figura 19: Registro de un ROA para la búsqueda federada.

Como se muestra en la figura la interfaz de búsqueda federada requiere la entrada de los siguientes campos:

- Nombre del ROA: Permite registrar el nombre del ROA que publica el servicio web.
- Url del servicio web: En este campo se registra la URL donde se encuentra publicado el servicio web del ROA registrado anteriormente que da acceso a sus OA.
- Nombre del servicio web: En este campo se introduce el nombre del servicio web al cual se desea acceder.

- Formato de los resultados: Para saber en caso de realizar la conversión del estándar de catalogación.
- Lenguaje de consulta: Para saber en caso de realizar la conversión del lenguaje de consulta.
- **Registro de un ROA para recolección de metadatos:**

Se debe registrar un ROA para la realización de la recolección de metadatos puesto que es necesario saber en qué repositorios se puede realizar dicha recolección. A continuación se muestra la interfaz para registrar un ROA:

A screenshot of a software dialog box titled "Registro de ROA para la recolección". The dialog box has a light gray background and a blue title bar. It contains three text input fields stacked vertically, each with a label to its left: "Nombre del ROA:", "URL:", and "Formato de resultados:". Below the input fields are two buttons: "Registrar" and "Cancelar".

Figura 20: Registro de un ROA para la recolección de metadatos.

Como se muestra en la figura la interfaz de búsqueda federada requiere la entrada de los siguientes campos:

- Nombre del ROA: Permite registrar el nombre del ROA que publica sus metadatos a partir del protocolo OAI-PMH.
- URL de la interfaz de publicación: En este campo se registra la URL donde se encuentra la interfaz que publica los metadatos.
- Formato de los resultados: Para saber si se tiene que realizar la conversión del estándar de catalogación.

2.3. Infraestructura de Redes

A continuación se muestra el diagrama de redes para lograr la interoperabilidad entre RHODA y las iniciativas estudiadas:

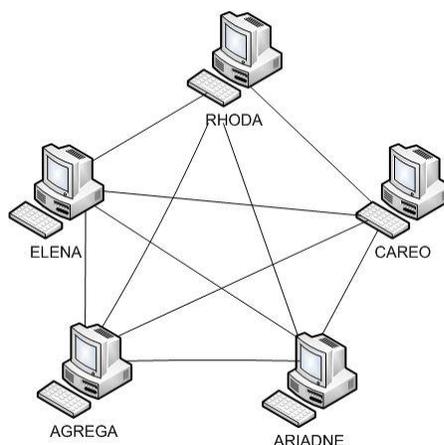


Figura 21: Diagrama de redes.

Como muestra la figura RHODA interopera con los demás ROA de acuerdo a una red P2P puesto que cada conexión es independiente y se establece exclusivamente entre los dos repositorios involucrados. Además cada uno de estos ROA puede interoperar con el repositorio que desee sin necesidad de ser controlado por un tercero.

2.4. Guía de autoevaluación de la arquitectura

Según la guía propuesta para la arquitectura se evalúan cada una de las vistas teniendo en cuenta aspectos que son necesarios abordar en esta propuesta por lo que se evaluará de acuerdo a los aspectos relacionados con la interoperabilidad:

Autenticación

Elemento	Puntuación deseada	Puntuación real
La herramienta de autenticación seleccionada permite proteger la contraseña.	15	15
La herramienta de autenticación seleccionada no permite guardar la contraseña.	15	10

La herramienta de autenticación está publicada por HTTPs u otro protocolo seguro de acceso.	15	15
La herramienta de autenticación tiene marcas de tiempo asociadas al proceso de autenticación.	10	10
La herramienta de autenticación permite auditoría de trazas de las acciones de autenticación por usuarios.	10	10
Se controla desde la aplicación de autenticación el acceso a los módulos y subsistemas según el rol que se está autenticando.	15	15
Desde los roles definidos en la aplicación se garantiza que no sea necesario autenticarse con rol de administrador para poder tener acceso a las funcionalidades y subsistemas.	10	10
El sistema de autenticación recoge datos necesarios de los usuarios y tiene control de identidades de los mismos.	10	10
Total	100	95

Tabla 4: Autenticación

Para realizar la autenticación, la herramienta desarrollada protege la contraseña, se guarda de manera encriptada pero no permite que se acceda a ella en texto plano, está publicada por HTTPs, asegura que cada usuario tenga diferentes permisos en la aplicación, sin ser estos administradores del sistema, pueden acceder a diferentes funcionalidades. Además permite acceder a las diferentes funcionalidades según el usuario que se ha autenticado. Debido a que cumple con la mayoría de los puntos expuestos, mostrando un 100% que es mayor que el 85%, el resultado de la evaluación es: **BIEN**.

Capa de presentación

Elemento	Puntuación deseada	Puntuación real
Existen requisitos para la validación correcta de la entrada/salida de datos de cada una de las interfaces de la aplicación.	30	30

Existe un mapa de navegación entre las interfaces de forma clara que indique flujos de datos e información adecuados no permitiendo el acceso a interfaces sin los permisos adecuados o en momentos no establecidos.	30	30
En la especificación de los procesos o casos de uso se cubre completamente el flujo descrito en el diagrama del Anexo 14.	40	40
Total	100	100

Tabla 5: Capa de presentación

Para las interfaces relacionadas con la interoperabilidad existe una correcta validación de los datos de entrada y salida, la cual se basa en la correspondencia de la información introducida con el tipo de datos que se almacena en la base de datos y con la entrada de código a la hora de realizar ataques. Además existe un mapa de navegación que muestra un flujo claro de los datos, el cual no permite que se acceda a interfaces restringidas para un usuario específico. Además se comprueba que el usuario realice las acciones correctas y en caso contrario se muestra un mensaje de error genérico, en caso de ocurrir una autenticación fallida se bloquea la cuenta, después de 10 intentos. Debido a que cumple con la mayoría de los puntos expuestos mostrando un 100%, que es mayor que 85%, el resultado de la evaluación es: **BIEN.**

Capa de negocio

Elemento	Puntuación deseada	Puntuación real
¿En el código está programado el tratamiento de las excepciones?	25	25
¿El tratamiento de las excepciones permite un seguimiento hasta guardar información acerca del lugar dónde se produjo el error y de los parámetros de configuración del sistema que lo provocaron?	25	25
¿Se sigue la traza del trabajo del usuario en la aplicación?	25	25

¿Se permite la inyección de SQL e inyección de código script de navegador (XSS)?	25	25
Total	100	100

Tabla 6: Capa de negocio

El negocio se programa realizando un correcto tratamiento de excepciones, mostrando el lugar donde se produjo cada error y permitiendo que se almacenen a través de logs³⁸, en el caso de la interoperabilidad se tiene en cuenta que se acceda desde un ROA registrado previamente, además se sigue la traza de cada usuario en la aplicación y se mitigan las inyecciones SQL a través de Propel y HTML Purifier³⁹. Debido a que cumple con la mayoría de los puntos expuestos mostrando un 100% que es mayor que 85%, el resultado de la evaluación es: **BIEN**.

Capa de datos

Elemento	Puntuación deseada	Puntuación real
¿Se validan los datos recibidos de otras aplicaciones externas?	15	15
¿Cada usuario del sistema se corresponde con un usuario de la base de datos?	5	5
¿Se restringe el acceso a las bases de datos desde los IP en los cuales corren los subsistemas que acceden a ellas?	10	10
¿La conexión con la BD se realiza a través de un canal cifrado mediante SSL?	10	0
¿La aplicación se conecta a la base de datos utilizando usuarios diferentes o a través de un único usuario para la conexión?	15	15
¿Los permisos de Insert, Delete y Update se asignan por	15	15

³⁸ Log: Registro oficial de eventos durante un rango de tiempo en particular.

³⁹ Disponible en: <http://htmlpurifier.org/>

tablas?		
¿Se controlan los niveles de seguridad a nivel del usuario de la base de datos?	10	10
¿Existen configuraciones a nivel de servidor de bases de datos que permite controlar la inyección de código?	10	0
Se restringen a nivel de configuración del gestor de bases de datos la posibilidad del desarrollo sobre lenguajes que permitan inyectar código inseguro.	10	10
Total	100	80

Tabla 7: Capa de datos

Se validan los registros de metadatos y las consultas provenientes de otras aplicaciones. Los usuarios que realizan búsquedas en el repositorio no necesariamente están registrados en la base de datos. El acceso a la base de datos es restringido. La conexión con la base de datos no se realiza a través de un canal seguro. Para acceder a la base de datos XML se controla a través de usuarios. En el servidor de base de datos no se realiza un control de inyecciones SQL puesto que se lleva a cabo en la capa de negocio a través de Propel y HTML Purifier. Debido a que cumple con la mayoría de los puntos expuestos mostrando un 80% que es mayor que 70% y menor que 85%, el resultado de la evaluación es: **Regular**.

Monitoreo de la seguridad

Elemento	Puntuación deseada	Puntuación real
Se guardan las trazas en el funcionamiento de la aplicación en forma de logs.	15	15
Establecimiento de estrategia para la rotación de los logs de las trazas de la aplicación mantiene copia de los mismos.	15	15
¿Se guardan las trazas en el funcionamiento de la base de datos en forma de logs?	15	15
Establecimiento de estrategia para la rotación de los logs de la base de datos mantiene copia de los mismos	15	15
La aplicación permite el análisis de los logs de las trazas de	10	10

la aplicación periódicamente.		
La aplicación permite el análisis de los logs periódicamente de la base de datos.	10	10
¿Se prevé realizar auditorías al código del servidor para la detección de cambios en el código?	20	20
Total	100	100

Tabla 8: Monitoreo de la seguridad

Se guardan las trazas mediante logs, los cuales son almacenados en el sistema para su posterior análisis, tanto para la aplicación como para la base de datos. Debido a que cumple con la mayoría de los puntos expuestos mostrando un 100% que es mayor que 85%, el resultado de la evaluación es: **BIEN**.

Puesto que se cumple con la mayoría de requisitos analizados en las tablas de autoevaluación, aunque la mayoría de estos no tengan relación directa con la interoperabilidad, de una forma u otra se relacionan debido a que para las búsquedas federadas y la recolección de metadatos existen interfaces para la entrada de información en la base de datos y se debe monitorear las acciones de los usuarios. Para la búsqueda federada puede existir una autenticación previa. Por lo anteriormente planteado se puede concluir que la arquitectura del sistema es autoevaluada de **BIEN**, con total global del 95%.

Conclusiones parciales

En este capítulo se definieron las funciones que deben tenerse en cuenta para lograr la interoperabilidad en el Repositorio de Objetos de Aprendizaje RHODA. Fue seleccionado el estándar IMS DRI para describir las funcionalidades que permiten el intercambio de objetos de aprendizaje entre diferentes sistemas. Para la realización de las búsquedas federadas se escogió el estándar SQL, y el protocolo OAI-PMH para la recolección de metadatos.

Se realizó la propuesta de una arquitectura de software para que RHODA interopere con otros ROA, teniendo en cuenta y enfatizando solo los elementos relacionados con el subsistema de interoperabilidad del repositorio. Se hizo una breve reseña a las tecnologías utilizadas para el desarrollo de la solución. Por último se evaluó la propuesta a través de la guía de autoevaluación de la arquitectura definida por la Dirección Técnica de la Universidad de las Ciencias Informáticas obteniendo resultados satisfactorios.

Conclusiones Generales

Al concluir el presente trabajo de diploma se comprueba el cumplimiento de los objetivos propuestos a través de los resultados alcanzados:

- Se realizó un estudio de los Repositorios de Objetos de Aprendizaje, destacando la búsqueda como una de sus funciones principales para lograr el intercambio de información.
- Fueron determinadas las características fundamentales de las iniciativas ARIADNE, AGREGA, ELENA y CAREO, para lograr un intercambio de los registros de metadatos de los OA de forma eficiente con estos sistemas.
- Se seleccionaron los estándares necesarios para dar cumplimiento a las funcionalidades que permiten el intercambio de OA. Para describir estas funcionalidades fue seleccionado el estándar IMS DRI.
- Para la realización de las búsquedas federadas se seleccionó el estándar SQL y para la recolección de metadatos OAI PMH.
- Se desarrolló una arquitectura de software basada en el estilo Modelo Vista Controlador para RHODA donde se profundizó en el subsistema de interoperabilidad.
- Se evaluó la arquitectura por medio de Guía de autoevaluación de la arquitectura definida en el documento de la Guía para la Especificación de la Línea Base de la Arquitectura de Software obteniendo resultados satisfactorios.

Recomendaciones

Al concluir el presente trabajo de diploma se recomienda:

- Continuar el estudio de las iniciativas que representan ROA interoperables para establecer la interoperabilidad con cada uno de ellos.
- Incorporar elementos de la web semántica para la interoperabilidad con otros sistemas.

Referencias bibliográficas

- Agudelo B., Mónica María.** [Online] [Cited: 2 20, 2011.] <http://aprendeonline.udea.edu.co/banco/html/plataformaseducativas/>.
- Alvarez, Gonzalo. 2007.** [Online] 2007. <http://www.iec.csic.es/criptonomicon/susurros/susurros37.html>.
- Alvarez, Luís, ESPINOZA, Daniela and PRIETO, Manuel. 2008.** [Online] 2008. [Cited: 1 16, 2011.] http://www.gita.cl/publicaciones/Empaquetamiento_de_LO_SCORM.pdf.
- Bartolomé, Jesús , et al. 2008.** [Online] 2008. [Cited: 1 20, 2011.] <http://eprints.ucm.es/7803/1/campusvirtual182-188.pdf>.
- Billy, Carlos. 2004.** [Online] 2004. <http://cic.javerianacali.edu.co/wiki/lib/exe/fetch.php?media=materias:introarq.pdf>.
- Bueno, Gema. 2010.** [Online] 2010. http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/10016/9154/1/Tesis%20doctoral-Gema_Bueno.pdf.
- Canabal Barreiro, Jose Manuel .** [Online] [Cited: 1 20, 2011.] <http://spdece07.ehu.es/actas/Canabal.pdf>.
- Catalani, E. 2007** [Online] 2007 [Cited: 3 20, 2011] <http://exequielc.wordpress.com/2007/08/20/arquitectura-modelovistacontrolador/>
- Castañeda de León, Luz María. 2004.** [Online] 11 10, 2004. [Cited: 1 3, 2011.] http://www.revista.unam.mx/vol.5/num10/art67/nov_art67.pdf.
- Ceibal. 2009.** [Online] 2009. http://www.ceibal.edu.uy/UserFiles/P0001/ODEA/ORIGINAL/exelearning_elp/GUIAObjetosCeibal09.pdf.
- Chiarani, Marcela Cristina, Guadalupe Pianucci, Irma and Leguizamón, Guillermo. 2006.** [Online] 2006. [Cited: 1 17, 2011.] http://www.dirinfo.unsl.edu.ar/~profeso/PagProy/articulos/CACIC_2006-repositorio.pdf.
- Codina, Lluís, Abadal, Ernest and Rovira, Cristòfol. 2007.** [Online] 2007. <http://www.lluiscodina.com/scienceResearch.pdf>.
- Collada, Sonia. 2009.** [Online] julio 2009. [Cited: 1 17, 2011.] <http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/10016/5847/1/SoniaCollada-IngTelecomunicacion.pdf>.
-

-
- Contreras, Juan Carlos. 2008.** [Online] 2008. <http://www.librodearena.com/b/9/1388309/Redes.ppt>.
- Córdova Solís, Miguel Angel. 2010.** [Online] 2010. [Cited: 2 10, 2011.] <http://www.slideshare.net/yuqui/repositorios-de-objetos-de-aprendizaje-4539438>.
- CORDRA. 2006.** CORDRA. *CORDRA*. [Online] 2006. <http://lab.usgin.org/standards/cordra-content-object-repository-discovery-and-registrationresolution-architecture>.
- DCMI. 2010.** Dublin Core Metadata Initiative. [Online] 10 11, 2010. [Cited: 2 12, 2011.] <http://dublincore.org/documents/dcmi-terms/>.
- Díaz Antón, Gabriela , et al.** [Online] [Cited: 1 10, 2011.]
- GALLEGO, PABLO . 2011.** [Online] enero 27, 2011. [Cited: 3 3, 2011.] <http://www.acoes.es/congresoIX/documentos/C6M2Nuevasformasdeeducacion.pdf>.
- Garlan, David and Shaw, Mary. 1994.** [Online] 1994. http://www.cs.cmu.edu/afs/cs/project/able/ftp/intro.../intro_softarch.pdf.
- GLOBE. 2006.** GLOBE. *GLOBE*. [Online] 2006. <http://www.globe-info.org/>.
- Guirola Manzano, Flor Vanessa. 2009.** Vanessa UMSA 2009. *Vanessa UMSA 2009*. [Online] 1 27, 2009. [Cited: 1 17, 2011.] <http://vanessaumsa2009.blogspot.com/2009/01/definicion-de-repositorios.html>.
- Hernández, V. S. 2009.** Estudio sobre la industria del Software a nivel mundial. Caracterización en América Latina y Cuba. *Gestiopolis*. [Online] 2009. <http://www.gestiopolis.com>.
- Hilera, José Ramón. 2006.** [Online] 9 2006. [Cited: 1 17, 2011.] <http://chico.inf-cr.uclm.es/cv2006/JoseRamonHilera.pdf>.
- Hilera, José Ramón and Hoya Marín, Rubén. 2010.** [Online] 2010. [Cited: 2 10, 2011.] <http://www.cc.uah.es/hilera/GuiaEstandares.pdf>.
- IEEE. 2002.** [Online] julio 15, 2002. [Cited: 2 2, 2011.] <http://www.uvs.sld.cu/archivos/lomv1spanish.rar>.
- Isaza, E. and A, Gustavo. 2008.** [Online] 2008. <http://www.vector.ucaldas.edu.co>.
- Jara, D and Salazar, M. 2008.** [Online] abril 2008.
-

- 2008.** LACL. LACL. [Online] 2008.
http://www.laclo.org/index.php?option=com_content&task=view&id=26&Itemid=53.
- López, Clara. 2005.** [Online] 2005. [Cited: 1 15, 2011.]
http://gredos.usal.es/jspui/bitstream/10366/56649/1/DIA_Repositoriosobjetos.pdf.pdf.
- López, Clara and García, Francisco. 2007.** [Online] 2007.
<http://zarza.usal.es/~fgarcia/doctorado/iuce/OA.pdf>.
- López, Clara and García, Francisco J. 2006.** [Online] 2006. [Cited: 1 2011, 10.]
- Martínez, Alejandro Gilberto. 2007.** [Online] 2007. [Cited: 1 20, 2011.]
http://lais.mora.edu.mx/svn/pescador/trunk/apuntes/reporte_busqueda.pdf.
- Mejía Corredor, Carolina. 2009.** [Online] 8 2009. [Cited: 1 15, 2011.]
[http://eia.udg.edu/~carolina/docs/masters-degree\(CarolinaM\).pdf](http://eia.udg.edu/~carolina/docs/masters-degree(CarolinaM).pdf).
- Mendoza, Jorge A. 2003.** [Online] Junio 10, 2003. [Cited: 1 10, 2011.]
<http://www.informaticamilenium.com.mx/paginas/mn/articulo78.htm..>
- Montilva , Jonás, Orjuela , Ailin and Rojas , Mauricio. 2010.** [Online] junio 2010. [Cited: 2 10, 2011.]
http://www.minas.medellin.unal.edu.co/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=1634&Itemid=285.
- Motz, Regina, Saavedra, Rodrigo and Vallespir, Diego. 2010.** [Online] 2010.
<http://www.ie2010.cl/posters/IE2010-185.pdf>.
- Nápoles, Nelson. 2011.** [Online] enero 2011. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2071-00542011000100015&script=sci_arttext.
- Navas, Elvira Esther. 2007.** [Online] abril 2007. [Cited: enero 20, 2011.]
<http://fondosdigitales.us.es/tesis/tesis/521/la-creacion-de-un-repositorio-de-objetos-de-aprendizaje-y-su-implantacion-en-la-universidad-metropolitana-caso-de-estudio/>.
- OAI-PMH. 2002.** [Online] 2002. http://www.openarchives.org/OAI/2.0/oai_dc.xsd.
- Ochoa, Xavier . 2009.** [Online] 2009. <http://www.slideshare.net/xaoch/federacion-repositorios-objetos-de-aprendizaje>.

-
- OKI. 2003.** OKI. [Online] 2003. [Cited: 2 6, 2011.] <http://sourceforge.net/projects/okiproject>.
- Olea, Ismael. 2006.** [Online] 12 21, 2006. [Cited: 1 13, 2011.] <http://olea.org/diario/archive/2006/dic-21-0.html>.
- Ort, Ed. 2005.** [Online] abril 2005. [Cited: 2 10, 2011.] <http://www.w3c.org/TR/2004/NOTE-ws-arch-20040211/>.
- Ortiz, Antonio, Otón, Salvador and Barchino, Roberto. 2006.** [Online] 2006. Falta.
- Otón, Salvador. 2006.** [Online] julio 2006. [Cited: enero 14, 2011.] <http://dspace.uah.es/jspui/bitstream/10017/472/3/Tesis.pdf>.
- Otón, Salvador, Ortiz, Antonio and Barchino, Roberto. 2006.** [Online] 2006. http://www.iadis.net/dl/final_uploads/200607L001.pdf.
- P1484, IEEE. 2002.** [Online] julio 15, 2002. <http://www.uvs.sld.cu/archivos/lomv1spanish.rar/>.
- Rallo, Robert. 2008.** [Online] 2008. http://deim.urv.es/~rrallo/papers/oeb03_abstract.pdf.
- Salazar Orellana , Manuel Francisco. 2008.** [Online] 2008. [Cited: 1 17, 2011.] <http://repositorio.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/1178/1/tesis%20ROA,%20documento%20final.pdf>.
- Salvador, Orlando and Soler, Javier. 2010.** *Implementación de un Repositorio de Objetos de Aprendizaje para la Universidad de las Ciencias Informáticas*. Universidad de las Ciencias Informáticas. 2010.
- Sampieri, Mónica. 2008.** [Online] marzo 2008. [Cited: 2 5, 2011.] http://www.tdr.cesca.es/TESIS_UPC/AVAILABLE/TDX-0414108-103715/01_sampieriBulbarela.pdf.
- Sanz, Javier. 2010.** [Online] 2010. [Cited: 1 15, 2011.] <https://www.educacion.es/teseo/imprimirFicheroTesis.do?fichero=16201>.
- Sarasa, Antonio. 2008.** [Online] 2008. <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/.../sarasaTFC0111memoria.pdf>.
- Sarasa, Antonio and Huertas, María Antonia. 2009.** [Online] 2009.
- Sarasa, Antonio, Canabal, Manuel and Sacristán, Juan Carlos. 2007.** [Online] 2007. [Cited: 1 20, 2011.] <http://www.proyectoagrega.es/client/documentoLocal/Agrega%20Interoperabilidad.pdf>.
-

Segura, Alejandra Andrea. 2009. [Online] 2009.
http://www.face.ubiobio.cl/~marco/Pres_%20alejandra%20segura.pdf.

Simon, Bernd . 2005. [Online] 5 2005. [Cited: 2 5, 2011.]

Soto, Jesús, García, Elisa and Sanchez, Salvador. 2008. [Online] 2008. [Cited: 2 10, 2011.]
<http://www.imai-software.com/openlab/data/SOTOGARCIASANCHEZ.pdf>.

Tramullas, Jesús. [Online] [Cited: 1 17, 2011.] http://www.betsime.disaic.cu/secciones/tec_ja_05.htm.

vuesurlecancer. 2008. vuesurlecancer. vuesurlecancer. [Online] 2008.
http://www.vuesurlecancer.ca/portal/server.pt/gateway/PTARGS_0_3412_1199_416_0_43/plumtree/portal/private/help/std/es/pt_aboutfederatedsearches.htm.

Alvarez, M. 2001 [Online] mayo 2001. [Cited: 2010] <http://www.desarrolloweb.com/articulos/392.php>.

Apache. 2011 <http://www.apache.org/>

Eguíluz Pérez, J. 2008 [Cited: 2011] <http://www.symfony.es/que-es-symfony/>.

Exist. 2009 <http://exist.sourceforge.net/>

Linux. 2011 [Cited: 2011] <http://www.linux-es.org/>

Netbeans. 2007. [Cited: 2011] http://netbeans.org/index_es.html.

Postgresql. 2008 http://www.postgresql-es.org/sobre_postgresql

Prendes, M. 2008. [Cited: 1 20, 2011] <http://www.sav.us.es/pixelbit/pixelbit/articulos/n32/2.pdf>

Propel. 2006 Obtenido de <http://www.propelorm.org/>

Valdez Altamirano, I. 2009 <http://www.ubicuos.com>.

Bibliografía consultada

IEEE. <http://www.ieee.org/>

(2010). *GUÍA PARA LA ESPECIFICACIÓN DE LA LÍNEA BASE DE LA ARQUITECTURA DE SOFTWARE*.
Guía, Universidad de Ciencias Informáticas, Dirección Técnica Grupo de Desarrollo Tecnológico.