

Aplicación de tecnologías de la Web semántica para la catalogación de contenidos musicales

Paloma de Juan
Departamento de Ingeniería
de Sistemas Telemáticos
Universidad Politécnica de Madrid
Email: paloko@gsi.dit.upm.es

Carlos Á. Iglesias
Germinus XXI (Grupo Gesfor)
Email: cif@germinus.com

Resumen—El siguiente artículo describe el proceso de aplicación de tecnologías de la Web semántica para el enriquecimiento de una biblioteca de contenidos musicales, en el contexto del proyecto Semusici. El propósito del proyecto Semusici es investigar cómo las tecnologías de la Web semántica pueden ser aplicadas a bibliotecas digitales y cómo esto puede mejorar la búsqueda y la accesibilidad. Este proyecto parte de los resultados del proyecto de eContent Harmos, que definía una taxonomía musical para la catalogación de clases magistrales, y propone una metodología para la conversión de esta taxonomía en una ontología y la migración de los contenidos de Harmos.

I. INTRODUCCIÓN

La mayoría de los estándares de catalogación, como MODS [1], MARC [2] o Dublin Core [3] definen los metadatos de acuerdo a una clasificación plana de propiedades, ya que es la opción más adecuada a la hora de desarrollar sistemas de búsqueda textual. En determinados contextos, como el de las bibliotecas digitales musicales, este enfoque es demasiado limitado, ya que algunos de los metadatos son entidades en sí mismos, como por ejemplo los Compositores o las Obras. En el proyecto Harmos se definió una taxonomía orientada a objetos, donde algunos de los valores, como las obras, los movimientos o los compositores fueron modelados como entidades, y se desarrolló un sistema avanzado de búsqueda basado en estas propiedades. Este sistema está disponible en [4]. Este artículo presenta la evolución de este enfoque hacia un nuevo modelo del dominio, basado en las tecnologías de la Web semántica. La principal ventaja de este nuevo enfoque es su capacidad para la recuperación y el razonamiento.

El resto del artículo se organiza de la siguiente manera: las secciones 2 y 3 resumen las características principales de los proyectos Harmos y Semusici, respectivamente. En la sección 4 se presenta una breve revisión de metodologías para la construcción de ontologías. La sección 5 describe el proceso de creación de la ontología de Semusici. Las secciones 6 y 7 resumen los pasos necesarios para la integración de la base de conocimiento y la ontología y presentan el prototipo elaborado para este proyecto. Por último, la sección 8 recoge los resultados y conclusiones del proyecto, así como las líneas de trabajo futuro.

II. PROYECTO HARMOS

El proyecto europeo Harmos [5] tuvo como propósito proporcionar acceso a través de Internet a vídeos de clases magistrales de grandes maestros. En el contexto de este proyecto, se recopiló una colección de contenidos audiovisuales de propósito educativo.

Se definió una taxonomía pedagógica [6] con la intención de cubrir todo el campo de la práctica y la enseñanza musical, haciendo énfasis en los aspectos pedagógicos. Los potenciales descriptores semánticos de esta taxonomía fueron estructurados en torno a tres conceptos principales: la música, el músico y la expresión musical. Esta taxonomía se compone de más de 400 descriptores y más de 700 horas de audio y vídeo de clases magistrales han sido catalogadas utilizando estos descriptores.

Los resultados del proyecto Harmos sirvieron de punto de partida para el proyecto Variazioni [7], cuyo objetivo es mejorar la calidad del etiquetado mediante el uso de una plataforma colaborativa a través de la cual cualquier tipo de usuario pudiera catalogar los contenidos.

III. PROYECTO SEMUSICI

El propósito del proyecto Semusici [8] es mejorar los resultados del proyecto Harmos introduciendo tecnologías de la Web semántica. El sistema de Harmos proporciona facilidades para la recuperación, que permiten encontrar clases magistrales en función de las selecciones del usuario, relativas a un compositor, una obra, un movimiento, un profesor, etc., como se detalla en [6].

El tipo de consultas aceptadas por este sistema son las típicas de un sistema basado en una base de datos relacional, lo cual nos obliga a adoptar determinados paradigmas de búsqueda. Esto a su vez limita el espectro de consultas que se pueden realizar. Si el sistema permitiera formular preguntas en lenguaje natural, se podrían realizar consultas semánticamente más complejas, como por ejemplo, “dame todas las clases en las que se toque una obra compuesta por algún compositor nórdico”.

Este tipo de consultas implican una estructuración compleja de la base de datos. Si además se quiere incorporar información de fuentes externas para enriquecer la base de conocimiento, es necesario que exista un consenso entre

todas las partes involucradas, de forma que los contenidos sean compatibles y la semántica subyacente sea común. Otro problema ligado a los sistemas basados en bases de datos es la pérdida de información semántica. Existen centenas de relaciones entre los descriptores semánticos que se utilizan para etiquetar los recursos; sin embargo, esa información no se tiene en cuenta a la hora de realizar una búsqueda.

Por todas estas razones se decidió incorporar tecnologías de la Web semántica, ya que ésta nos proporciona estructuras que, por definición, representan un modelo común y formal de las entidades y relaciones de un determinado dominio.

La inclusión de nuevas posibilidades de recuperación requiere extender el modelo de la base de datos y una gran inversión en el desarrollo de nuevas consultas, que deben ser afinadas y optimizadas, dado el gran volumen de la base de datos. El uso de tecnologías de la Web semántica, que permiten extender de forma sencilla las propiedades y relaciones con nuevos predicados, hace esto posible. Además, estas tecnologías pueden contribuir a la mejora de la calidad de los metadatos, ya que pueden ayudar a comprobar la consistencia de la catalogación.

La inclusión de tecnologías de la Web semántica supone varios retos. En primer lugar, es necesario definir una ontología que contenga los conceptos de la taxonomía de Harmos. En segundo lugar, el uso de estas tecnologías para la catalogación no debería afectar a los analistas musicales, de modo que es necesario desarrollar interfaces sencillas para la catalogación semántica. En tercer lugar, es necesario migrar la colección multimedia de Harmos al nuevo esquema semántico. Por último, es necesario evaluar el estado actual de las tecnologías de la Web semántica en términos de rendimiento, dado el gran tamaño de la colección multimedia.

IV. METODOLOGÍAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE ONTOLOGÍAS

La Web semántica, tan popular en estos días, es realmente una Web extendida dotada de significado, en la que cualquier usuario puede encontrar respuestas a sus preguntas de forma más rápida y precisa que en la Web tradicional, gracias a una información mejor definida. La Web semántica se basa en la utilización de estructuras dotadas de significado, de modo que la información no sólo esté en los contenidos, sino también en su soporte. La utilización de estas estructuras bien definidas permite compartir, procesar y transferir información de forma sencilla.

Todas estas ventajas plantean un nuevo paradigma de organización y recuperación de información, la cual hasta el momento sólo era accesible a través de bases de datos, en las que los contenidos eran simplemente almacenados en estructuras carentes de significado. Una ontología describe los conceptos y relaciones importantes dentro de un determinado dominio, proporcionando tanto el vocabulario para ese dominio como una especificación del significado de los términos utilizados en dicho vocabulario. Con la incorporación de información adicional, gracias a uso de estas ontologías,

se puede mejorar la experiencia del usuario y enriquecer las posibles búsquedas.

Construir una ontología supone formalizar una visión común del mundo o de un determinado dominio. En este proceso intervienen diversos agentes: expertos del dominio, ingenieros e incluso usuarios finales. No todos estos agentes tienen los conocimientos necesarios para construir una ontología y tampoco es necesario que los tengan, aunque todos desempeñen un papel importante en este proceso. Por ello, resulta muy útil encontrar unas pautas y unos criterios comunes que guíen el proceso. Estas pautas deben ayudar a los expertos a expresar su visión del dominio, de forma que la tarea de captura del conocimiento sea más sencilla. De esta manera, los ingenieros se pueden concentrar en la correcta formalización de la conceptualización.

El propósito de seguir una metodología es que no se pierda información en el proceso de intercambio de conocimiento entre los diferentes agentes. También proporciona una serie de pasos necesarios para evitar la aparición de inconsistencias, que supondrían un exceso de trabajo. Además, la calidad de la ontología se verá fuertemente afectada por la elección de una metodología adecuada [9] y de cómo se haya seguido. Esto quiere decir que una mala elección puede llevar a la creación de una ontología mediocre. Por último, la existencia de una ontología común, aceptada por todos los agentes, facilita la interacción entre éstos [10], ya que en la mayoría de los casos, no trabajarán juntos y la coordinación entre ellos será limitada. Una metodología proporciona criterios comunes para la toma de decisiones importantes.

No existe una única metodología para el diseño de ontologías [11]. Esto significa que no existe un único método para construir una ontología [12], ni un único método para evaluarla. Sin embargo, todas las ontologías publicadas han resultado efectivas y útiles, al menos para el proceso concreto para el que han sido planteadas. La clave para encontrar las mejores pautas para una determinada aplicación es analizar el propósito para el cual se desarrollaron todas esas metodologías y encontrar puntos en común con la nueva aplicación. Esto no deja de ser un modo de reutilizar conocimiento, una práctica muy común en el campo de la ingeniería de ontologías.

De entre todas las metodologías que se han podido analizar, cabe destacar:

- Uschold y Grüninger [12]. Consta de las siguientes fases: identificar propósito, capturar los conceptos, sus relaciones y los términos correspondientes, codificar, integrar, evaluar y documentar.
- Grüninger y Fox [13]. Sus fases son: identificar aplicaciones y escenarios, definir una terminología formal, formalizar las cuestiones y definir axiomas. Su principal contribución es la definición de las llamadas “cuestiones o preguntas de competencia”, que son aquellas consultas que la ontología debe estar preparada para resolver y que ayudan a definir el vocabulario y a identificar los conceptos relevantes al dominio.
- Gómez-Pérez y otros [14]. Al igual que en los casos anteriores, las fases que propone son: especificar,

conceptualizar, formalizar, implementar y mantener. En este caso, la novedad es la utilización de estructuras intermedias (tablas, grafos, diagramas) durante la fase de conceptualización.

- Noy y McGuinness [11]. A través de una simple guía, se describe el proceso de creación de una ontología de forma interactiva. Los pasos propuestos son: identificar dominio y ámbito, elegir terminología, elegir enfoque más adecuado para la construcción de la jerarquía, definir los atributos y restricciones en su valor y crear instancias.

Por lo general, cada grupo de investigación suele utilizar su propia metodología [15]. La gran cantidad de metodologías disponibles hace que sea difícil elegir la más apropiada para un determinado propósito. En un intento de crear un proceso unificado, Uschold [16] propuso un sistema de clasificación de ontologías, en función del nivel de formalidad, que pudiera ayudar a elegir la metodología más adecuada. Por otra parte, Gruber [17] resumió en cinco puntos los objetivos principales a la hora de construir una ontología: claridad, coherencia, extensibilidad, independencia del código y compromiso ontológico mínimo.

V. CONSTRUCCIÓN DE UNA ONTOLOGÍA PARA SEMUSICI

Como hemos visto, existen ciertos pasos que son comunes a todas las metodologías publicadas. Estas fases son las siguientes:

- Especificación: Se trata de identificar propósito, ámbito, aplicación y perfil de los usuarios y determinar la competencia de la ontología.
- Captura del conocimiento: En esta fase se identifican los términos relevantes, se estructuran los conceptos, se definen los atributos, relaciones, restricciones y axiomas y, en definitiva, se crea un modelo o conceptualización del dominio.
- Formalización o codificación: La conceptualización se traduce a un lenguaje de representación.
- Evaluación
- Documentación

Además de estas fases, existe otro punto en común a todas las metodologías: la adopción de una estrategia bien definida para la construcción de la jerarquía de clases en la fase de conceptualización. Existen tres enfoques principales, cada uno de los cuales es más apropiado en función del conjunto de conceptos que sea identificado en primer lugar. Éstos son:

- *Top-bottom*: Es el enfoque más adecuado cuando la jerarquía de conceptos se construye a partir de una ontología de alto nivel, como SENSUS [18] o Cyc [19].
- *Bottom-up*: Ésta es la mejor solución si los conceptos identificados en primer lugar son los más específicos del dominio. Por ello, será el enfoque más apropiado a la hora de convertir una taxonomía en una ontología.
- *Middle-out*: En la mayoría de los casos, los conceptos que se identifican en primer lugar son los más relevantes y no suelen ser ni los más genéricos ni los más específicos. En estos casos, esta sería la estrategia más apropiada.

A continuación, revisaremos el proceso seguido para la construcción de una ontología para el proyecto Semusici. Basándonos en las ideas que han resultado más efectivas en otros proyectos, se decidió seguir los pasos que acabamos de ver, que constituyen los puntos comunes a las principales metodologías.

V-A. Elección de las herramientas adecuadas

Existe una gran variedad de herramientas disponibles para la creación, edición, visualización y almacenamiento de ontologías. También existen diversos motores de inferencia o razonadores, que son muy importantes a la hora de obtener conocimiento de la ontología. Se han analizado algunas de estas herramientas, para elegir el entorno más adecuado para nuestro propósito. Algunas de éstas son Protégé [20], RacerPro [21], Sesame [22], SWOOP [23], WebODE [24], etc. Se ha llevado a cabo un estudio para encontrar las características distintivas de estas herramientas. Para ello, se eligieron once parámetros, de acuerdo a los cuales se evaluaron trece herramientas. Algunos de estos parámetros fueron los lenguajes soportados, el soporte a la validación de consistencia, la disponibilidad, el mantenimiento, etc. Finalmente, Protégé y Sesame fueron las herramientas escogidas.

Todas estas herramientas soportan diversos lenguajes. La elección del lenguaje más adecuado para implementar una ontología es quizás el paso más importante del proceso. Dicha elección depende de lo exhaustiva que queramos que sea la ontología. Para Semusici, nuestra primera opción fue RDFS, ya que es el lenguaje principal de Sesame. Este lenguaje resultó suficiente para construir una primera versión básica de la ontología. Más tarde decidimos incluir restricciones para reforzar la definición de los elementos que ya habíamos definido. El propósito de estas restricciones es permitir la ejecución de comprobaciones de consistencia al añadir nuevos contenidos. Para ello, se añadieron nuevas sentencias en OWL.

V-B. Estudio de la base de conocimiento

La base de conocimiento que representará la ontología está dividida en dos partes. La primera contiene conocimiento que no está relacionado directamente con la colección y que puede ser útil para encontrar recursos. El propósito de ésta es reponder cualquier consulta que no esté relacionada directamente con el contenido de los recursos. Por ejemplo, “dame todas las grabaciones relacionadas con compositores nacidos en el siglo XVIII”.

La otra parte de la base de conocimiento es la taxonomía de conceptos. Ya hemos hablado de las características de esta estructura. Esta taxonomía contiene más de 200 conceptos pedagógicos que son utilizados como etiquetas para describir los recursos. Durante el proceso de catalogación, estos recursos son etiquetados de acuerdo a los descriptores semánticos que conforman esta taxonomía.

Estos descriptores semánticos fueron definidos a partir del árbol de conceptos de Harnos. Éste, como ya vimos, se basa en tres ramas principales que sirvieron como punto de partida:

el músico, la música y la expresión musical. Cada una de las divisiones del árbol de conceptos parte de alguna de estas tres ramas. Las ramas más pequeñas se organizaron de acuerdo a una serie de categorías hasta llegar finalmente a los conceptos didácticos.

V-C. Creación de la ontología

La ontología que se corresponde con la primera parte de la base de conocimiento tuvo que construirse desde cero, ya que la mayoría de los conceptos que se pretendía representar eran nuevos. Siguiendo los puntos identificados en el análisis de las principales metodologías, el primero paso sería identificar el propósito y el ámbito de la ontología. En el caso de Semusici, el propósito es crear una estructura de soporte para representar de forma significativa el contenido de vídeos pedagógicos. El ámbito es por tanto el de la pedagogía musical. Identificados estos puntos, podemos delimitar la aplicación de nuestra ontología: ésta deberá permitir realizar búsquedas con términos relacionados con los utilizados para etiquetar los vídeos, sin necesidad de que éstos estén presentes en la consulta.

Después, es necesario decidir qué preguntas se espera que la ontología pueda contestar. Éstas definen la competencia [13] de la ontología. Para nuestro proyecto, reunimos más de 50 consultas e identificamos palabras claves que posteriormente se convertirían en parte de la terminología de la ontología. Algunas de ellas se pueden observar en la Figura 1. Los conceptos centrales de la parte de la base de conocimiento sujeta a estudio son *Obra* y *Compositor*. Por lo tanto, las consultas fueron planteadas con vistas a recuperar información relativa a estos conceptos, a partir de datos relacionados, que luego serían identificados como propiedades de dichos conceptos.

Quiero encontrar una Obra ...	Quiero encontrar un Compositor ...
... que se llama "Das klagende Lied"	... llamado Sergei Rachmaninov
... compuesta por Brahms	... finlandés
... que sea un Impromptu	... nacido en 1808
... que tenga cinco movimientos	... fallecido en 1983
... perteneciente al barroco alemán	... nacido en Barcelona
... compuesta en el año 1786	... fallecido en Génova
... para como inglés	... prolífico
... de referencia para la flauta travesera	... influenciado por Wagner
... de dificultad alta para arpa	... influenciado por el jazz
... compuesta en Lyon	... que haya influenciado a Schubert
... en fa menor	... representativo del Romanticismo italiano

Figura 1. Preguntas de competencia

El siguiente paso fue elegir cuáles de estas palabras claves debían ser representadas como clases, propiedades e instancias. Lo más importante en este punto es decidir qué nivel de especificidad queremos que tenga la ontología. Por ello, elegimos los conceptos que debían tener una definición más precisa y los separamos de aquéllos que constituían el nivel más específico de la ontología. Por ejemplo, analizando las consultas de la Figura 1, identificamos la propiedad "instrumento", relativa a una obra. Un instrumento es un elemento complejo, ya que no sólo se caracteriza por su nombre, sino también por otras propiedades, como la familia a la que pertenece. Ya que esta propiedad podría

resultar interesante a la hora de recuperar determinadas clases magistrales (que es el propósito último), se decidió que *Instrumento* debía ser una clase.

En el caso de otras propiedades, como por ejemplo "fecha de nacimiento", "nombre", "número de movimientos"..., la información asociada puede representarse con un tipo simple, como puede ser una cadena de caracteres o un número, de modo que no es necesario crear una nueva clase. El mismo análisis se llevó a cabo con cada una de las palabras clave identificadas a partir de las preguntas de competencia. En consecuencia, se recopiló una lista de clases, propiedades e instancias (por ejemplo, las correspondientes a todas las posibles tonalidades) que modelaban el dominio que nos ocupa.

En este punto se consideró la reutilización de alguna ontología ya publicada para la representación de las clases, propiedades e instancias identificadas, pero finalmente se optó por la definición de un vocabulario propio. La reutilización es una práctica muy común en la ingeniería de ontologías.

V-D. Transformación de la taxonomía de conceptos en una ontología

Así como existen numerosas metodologías para la creación de una ontología desde cero, no existe realmente un método para formalizar una taxonomía. Por ello, se decidió iniciar un proceso propio, basado en la realización de un profundo análisis de la distribución de los conceptos. Este análisis nos llevó a seguir una estrategia de tipo *bottom-up*, de forma que fuera posible encontrar la manera más orgánica e intuitiva de clasificar los elementos de la taxonomía original.

El primer paso para convertir la taxonomía de conceptos en una ontología fue crear una clase *Concept* que sirviera como raíz. Todas las instancias de esta clase tienen asignado un nombre de concepto. Este nombre coincide con la etiqueta correspondiente que se utiliza para clasificar los recursos. Aunque la taxonomía original estaba dividida en tres ramas principales, se decidió crear un primer nivel de clases más específicas. La intención era agrupar conceptos que tuvieran características semánticas básicas en común, para facilitar la definición de relaciones entre diferentes clases.

La clasificación original agrupaba la mayoría de los conceptos de acuerdo al instrumento al que se referían. Por ejemplo, tal y como se puede observar en la Figura 2, los conceptos relativos a la mecánica de un instrumento de cuerda se situaban bajo la subcategoría *Mechanics*, derivada de *Strings*. Los conceptos de esta categoría presentaban además niveles de especificidad muy heterogéneos. Por ejemplo, las cerdas (*hairs*) son una parte del arco (*bow*), elemento que no todos los instrumentos de cuerda tienen.

Para reorganizar esta clasificación, decidimos crear una categoría principal, llamada *Mechanics*, para agrupar todos los conceptos relacionados con la mecánica, sea general o específica de algún tipo de instrumento, ya que no podemos considerar que un elemento o una parte de un instrumento de cuerda guarde una relación de tipo "es-un" con la clase

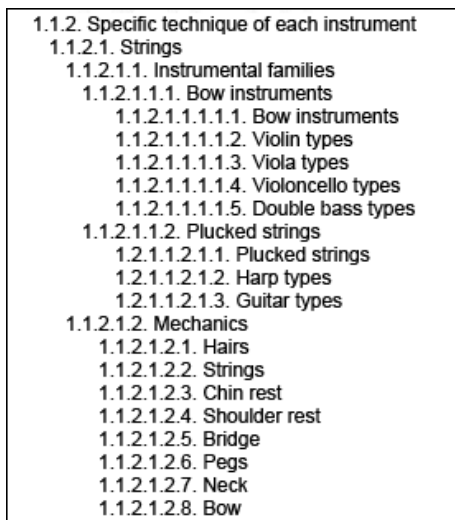


Figura 2. Organización de la taxonomía original

String. Asimismo, establecimos que toda instancia de la clase *Mechanics* o de cualquiera de sus subclases (que organizan jerárquicamente los conceptos relativos a la mecánica según el instrumento al que se refieran y de acuerdo a su nivel de especificidad) debía estar relacionada con algún tipo de instrumento.

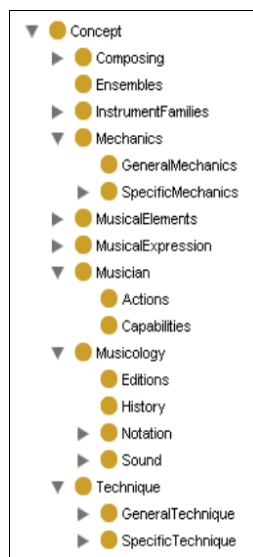


Figura 3. Organización de los conceptos

Seguimos el mismo criterio para crear las principales categorías y así construimos el primer nivel de nuestra ontología. En la Figura 3 se puede ver este primer nivel, así como algunas de las clases del segundo nivel. Como se puede observar, además de la clase *Mechanics*, se crearon otras clases como *Technique* (que agrupa todos los conceptos relativos técnicas generales o específicas de algún instrumento), *InstrumentFamilies* (que establece una clasificación de los distintos tipos de instrumento, de acuerdo a la familia a la que pertenecen) o *Musician* (que organiza los

conceptos relativos al propio músico), entre otras.

También definimos algunas propiedades, como *relatedTo*, *partOf* o *elementOf*. La primera es una propiedad simétrica cuyo fin es conectar conceptos que podrían ser interesantes para los mismos usuarios. Por ejemplo, si un usuario busca una lección sobre los martillos del piano, probablemente esté interesado en ver otros vídeos sobre teclados. Utilizamos esta propiedad, entre otras cosas, para establecer restricciones en la definición de algunas clases. Por ejemplo, como ya vimos, toda instancia de *Mechanics* o de *Technique* debe estar relacionada con alguna instancia de la clase *InstrumentFamilies*.

Tanto *partOf* como *elementOf* son propiedades transitivas. Esto significa que si un primer concepto es parte/elemento de un segundo concepto y éste es parte/elemento de otro tercer concepto, podemos afirmar que el primer concepto es también parte/elemento del último. La diferencia entre ambas es que si un concepto A es parte de un concepto B, cualquier instancia de B tiene A (por ejemplo, la rana es “parte del” arco de un instrumento de cuerda frotada, porque todo arco tiene una parte llamada rana). Sin embargo, si un concepto A es elemento de un concepto B, esto significa que sólo algunas instancias de B tienen A (por ejemplo, la lengüeta es un elemento de la embocadura en los instrumentos de viento, porque hay instrumentos de viento que no tienen lengüeta en su embocadura). Teniendo en cuenta esta diferencia, podemos afirmar que si un concepto A es parte de un concepto B y este concepto está relacionado con un concepto C, A está relacionado con C. Esto no es cierto si A es un elemento de B.

Algunas de estas relaciones semánticas fueron establecidas entre conceptos que son instancias de clases disjuntas, con el propósito de permitir la ejecución de futuras recomendaciones. Finalmente, también utilizamos restricciones para reforzar la definición de las clases y para facilitar el mantenimiento de la consistencia a la hora de expandir la ontología.

V-E. Codificación y verificación de la ontología

Como resultado de la conceptualización del dominio, se elaboró una lista de clases y propiedades, incluyendo aquellas producidas en el proceso de conversión de la taxonomía. La formalización fue llevada a cabo utilizando la herramienta Protégé. Esta herramienta proporciona todos los medios necesarios para codificar la ontología y visualizar algunos de sus elementos. Antes de cargar la ontología en el repositorio, se reemplazó el conjunto de reglas de inferencia de Sesame por uno más completo, que permitiera el razonamiento OWL.

Sesame proporciona un mecanismo de verificación de datos que se puede activar en el momento en el que se añaden al repositorio. Este mecanismo nos permitió comprobar que la ontología era consistente, si bien el propio Protégé también permite corregir determinadas inconsistencias sobre la marcha, señalando puntos conflictivos durante la edición y limitando las acciones realizables, en función de las restricciones que hayamos impuesto previamente (relativas a las clases o al dominio y rango de las propiedades).

VI. TRADUCCIÓN E INTEGRACIÓN DE LA BASE DE CONOCIMIENTO

Tras haber creado la ontología, se procedió a la traducción de la base de conocimiento, tal y como se representaba en el proyecto *Variazioni*, al lenguaje RDF, elegido para la implementación de la ontología¹. En primer lugar, se procedió al estudio de las categorías utilizadas en el modelo de *Variazioni*. Se comprobó que, efectivamente, todas habían sido incluidas en la ontología. Se hizo especial énfasis en la comprobación de la compatibilidad de tipos, que podría haber supuesto un problema a la hora de automatizar la traducción. Para la representación de las diferentes clases magistrales, se eligieron identificadores que facilitaran la localización de los recursos físicos. La traducción se realizó de forma automática, resultando en un fichero RDF que reflejaba la totalidad de la base de conocimiento.

VII. DESARROLLO DE UN SISTEMA DE CONSULTA

El propósito último de *Semusici* era la creación de un portal semántico, cuya finalidad fuera la de proporcionarle al usuario una manera sencilla e intuitiva de acceder a los contenidos de la colección de clases magistrales de la Fundación Albéniz, previamente descrita y estructurada de acuerdo al modelo definido en *Variazioni*. Dentro de este portal se incluye un demostrador que permite, entre otras cosas, realizar búsquedas semánticas, gracias a la incorporación de una ontología como modelo del dominio. A continuación, se describen los pasos más importantes en la elaboración de este prototipo.

VII-A. Selección de las consultas

Para el desarrollo del prototipo, se decidió elaborar una lista de consultas predefinidas con opción a introducir algún dato. Estas consultas están orientadas a los contenidos de la base de conocimiento a día de hoy; sin embargo, la ontología subyacente da opción a la incorporación de muchos más datos acerca de las obras, los compositores, el contenido de las clases..., lo que en el futuro permitirá la inclusión de un gran número de consultas. De esta manera, se pretende dar acceso a la mayor parte de la colección de clases magistrales de forma guiada, pero permitiendo cierto grado de libertad.

El esquema de consulta ha sido diseñado como un árbol de decisiones con tres ramas principales: búsqueda de compositores, búsqueda de obras y búsqueda de clases magistrales. Cada nivel del árbol se presenta como un nuevo desplegable, con las opciones de búsqueda para cada una de las ramas principales. En total, se han implementado 38 posibles consultas con todas las combinaciones que permite el estado actual de la base de conocimiento. El usuario puede introducir parámetros para la búsqueda a través de los campos de texto o desplegables situados en las hojas del árbol de decisiones, como se puede ver en la Figura 4.

¹Aunque la ontología ha sido implementada en OWL, para la representación de la base de conocimiento, RDF es suficiente. Como es de suponer, esto no presenta ningún tipo de problema de compatibilidad, ya que RDF es la base de OWL.

VII-B. Elección del lenguaje de consulta

El siguiente paso fue traducir las consultas a un lenguaje de consulta adecuado al lenguaje de la base de conocimiento y compatible con el repositorio elegido, esto es, *Sesame*. A fecha de comienzo del proyecto, la versión estable de *Sesame* era la 1. Esta versión permite realizar consultas en RQL y SeRQL, desarrollado por Aduna [25] para *Sesame* y basado en el anterior. Se decidió utilizar SeRQL, ya que además de combinar las características de otros lenguajes, aparte de RQL, aporta nuevas posibilidades de búsqueda y presentación del resultado, muy interesantes para nuestros intereses.

La sintaxis bien definida de SeRQL nos permitió realizar la traducción de las consultas de forma rápida, permitiéndonos incluso el uso de expresiones regulares para ampliar el resultado. Las consultas fueron probadas a través de la interfaz gráfica de *Sesame*, antes de ser incluidas en el prototipo. Se pudo comprobar además que el tiempo de respuesta de estas consultas era óptimo.

VII-C. Interconexión con el portal

La interconexión entre el portal, basado en portlets, y *Sesame* se realizó utilizando la API de éste último. La API de *Sesame* es una capa de almacenamiento e inferencia (*Storage And Inference Layer o SAIL*, en inglés) que permite abstraer al usuario del tipo de almacenamiento utilizado (es decir, si los datos se almacenan en una base de datos relacional, en memoria o en archivos, por ejemplo) y proporciona soporte para el razonamiento.

Por encima de esta capa, se sitúan los módulos funcionales, como, por ejemplo, el motor que procesa las consultas SeRQL. El acceso a estos módulos es posible gracias a la API de acceso de *Sesame*, que se divide en dos partes: la parte relativa al repositorio, que proporciona acceso de alto nivel a los repositorios, para la consulta y el almacenamiento de archivos RDF, y la parte relativa al tratamiento de grafos, que permite manipular grafos RDF a más bajo nivel: permite añadir y eliminar sentencias de forma individual y crear modelos RDF directamente a partir del código. Ambas APIs se complementan funcionalmente y normalmente se usan en conjunción.

La implementación del acceso al repositorio desde el portal fue muy sencilla, ya que tanto el repositorio como el portal residen en la misma máquina virtual de Java. La API de *Sesame* proporciona métodos distintos para el acceso local y remoto, siendo el mencionado el más sencillo de ellos. A través de un formulario, se envían los datos de la consulta al servidor, que los recoge a través de una *bean*. Estos datos sirven para componer la consulta codificada en SeRQL, que se ejecuta en *Sesame* mediante el uso de las funciones correspondientes. Los resultados se presentan finalmente en una tabla, donde cada línea muestra el título de una de las clases magistrales que responden a la consulta. Dicho título está enlazado a la clase, lo que proporciona un acceso rápido al recurso correspondiente.

Demostrador

Búsqueda Semántica Búsqueda por Audio Navegar

Pregunta

¿Que desea buscar?
 Quiero buscar un(a)

Usando información de la composición
 Buscando composición por

Buscar por instrumento
 ...utiliza el instrumento

Resultados










-  Symphony no. 40 in G minor K 550
-  Duet for two flutes no. 1 en E minor F 54
-  Sonata for flute in A minor W 132 H 562
-  Partita for flute in A minor BWV 1013
-  Sonata for flute and piano in D major op 94
-  Serenade for flute, violin and viola in D major op 25
-  Divertimento for flute, violin and cello no. 9 in G major H IV - 7
-  Sonata for flute and basso continuo in E minor op 9 no. 2
-  Sonata for violin and harpsichord in G minor BWV 1020 (version for flute and harpsichord)

Figura 4. Prototipo del buscador semántico

VIII. TRABAJOS RELACIONADOS

Semusici es el tercero de una serie de proyectos realizados por nuestro grupo de investigación en colaboración con la Fundación Albéniz. Ya se ha hablado de Harmos y de Variazioni, ambos enmarcados en el mismo dominio que Semusici. Los resultados de éste último serán ampliados en el proyecto Cantiga [26], actualmente en desarrollo. El proyecto Cantiga investiga cómo las tecnologías de la Web 2.0 pueden ser aplicadas a la catalogación y búsqueda de recursos musicales.

Las tecnologías de Web semántica han sido aplicadas a la anotación de elementos multimedia previamente [27], [28], aunque, en la mayoría de los casos, su objetivo ha sido la detección de elementos. También han sido aplicadas en el dominio de la música, ligadas al modelado de grabaciones musicales [29] y a la presentación de recursos culturales [30].

En cuanto al modelado del dominio, existen numerosas ontologías musicales disponibles en la Web. La más destacable es Music Ontology [31], la cual describe elementos como artistas, álbumes, tracks, interpretaciones, arreglos, etc. También encontramos Music Vocabulary [32], más orientada al dominio concreto de la música clásica, u Ontomúsica [33], para la enseñanza de la historia de la música. En [34] se presenta una taxonomía de géneros musicales.

Existen también algunas propuestas relacionadas con el campo de las bibliotecas digitales y, más concretamente, con la promoción de colecciones musicales. La Asociación Internacional de Bibliotecas, Archivos y Centros de

Documentación Musicales (*International Association of Music Libraries, Archives and Documentation Centres*, IAML [35]) pretende fomentar el desarrollo de actividades para facilitar la realización de proyectos relacionados con las bibliotecas musicales.

Por último, existen algunos portales de interés relacionados con la búsqueda de recursos musicales. El más interesante, por utilizar protocolos de la Web semántica, es sin duda mSpace [36]. Este servicio proporciona acceso a contenidos musicales basándose en información bibliográfica asociada a dichos contenidos, a través de diversas categorías y de las relaciones entre éstas.

IX. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Como resultado de la codificación de la ontología, se generaron aproximadamente 1.500 líneas de código. Esto incluye únicamente lo relativo a la ontología (es decir, a la descripción del modelo), no a la base de conocimiento. En estas 1.500 líneas se definen más de 150 clases y casi 50 propiedades. Se ha comprobado que la búsqueda semántica proporciona resultados rápidamente y con buena precisión, gracias a la representación de los datos mediante el uso de una ontología, si bien es difícil evaluar el aporte real que supone utilizar este tipo de estructuras, ya que, en este momento, la base de conocimiento no está lo suficientemente enriquecida. En el futuro, se irán añadiendo datos que permitan la ejecución de una variedad más amplia de consultas y que de verdad demuestren el valor de la inclusión de la semántica en este tipo de sistemas.

El prototipo que se maneja en estos momentos no permite realizar consultas en lenguaje natural, si bien se han considerado consultas complejas equivalentes a las que se podrían realizar en un sistema de este tipo, como por ejemplo, “dame todas las clases en las que se hable de una obra compuesta por un compositor del siglo XVIII”². Nuestro primer objetivo es encontrar un paradigma de búsqueda que no conlleve las complicaciones asociadas a un sistema basado en lenguaje natural, pero que sea más flexible e intuitivo que el actual a la hora de especificar la semántica de una consulta.

Como línea futura, se está trabajando en la interconexión de la ontología con otras fuentes de datos que mejoren la búsqueda. Se plantea la posibilidad de incorporar información del CIA Factbook [37] para realizar inferencias geográficas. Otra posible mejora sería añadir información biográfica sobre los compositores como, por ejemplo, conjuntos de datos de la DBpedia [38]. La segunda línea de trabajo será el desarrollo de un sistema de validación de consistencia. El propósito no es otro que proporcionarle a la ontología un medio para preservar la consistencia y la coherencia, en caso de que haya más de un anotador trabajando en el mismo conjunto de datos.

Además, se pretende trabajar en el desarrollo de una capa de soporte para el multilingüismo, así como investigar técnicas de integración con bases léxicas que permitan llevar a cabo búsquedas de texto libre. Por último, también se han realizado algunas pruebas orientadas a la búsqueda por navegación. Se continuará trabajando en este campo, con el fin de explotar las posibilidades visuales de este tipo de estructuras.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de investigación ha sido cofinanciado por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, dentro del Plan Nacional de Investigación Científica, a través del programa PROFIT, mediante los proyectos Semusici (Nº Proyecto FIT-350200-2006-70 y FIT-350200-2007-44) y Cantiga (Nº Proyecto FIT-350201-2007-8).

REFERENCIAS

- [1] “Metadata Object Description Schema (MODS).” [Online]. Available: <http://www.loc.gov/standards/mods>
- [2] “MARC Standards by the Library of Congress.” [Online]. Available: <http://www.loc.gov/marc>
- [3] “Dublin Core Metadata Initiative.” [Online]. Available: <http://dublincore.org>
- [4] “Magister Musicae.” [Online]. Available: <http://www.magistermusicae.com>
- [5] “Proyecto Harmos.” [Online]. Available: <http://www.harmosproject.com>
- [6] C. Á. Iglesias, M. Sánchez, Álvaro Guibert, M. J. Guibert, and E. Gómez, “A Multilingual Web based Educational System for Professional Musicians,” *Current Developments in Assisted Education*, 2006.
- [7] “Proyecto Variazioni.” [Online]. Available: <http://www.variazioniproject.org>
- [8] “Proyecto Semusici.” [Online]. Available: <http://semusici.germinus.com>
- [9] S. Hakkarainen, D. Strasunskas, L. Hella, and S. Tuxen, “Choosing Appropriate Method Guidelines for Web-Ontology Building,” in *Proceedings of the 24th Conference on Conceptual Modelling (ER 2005)*, ser. LNCS 3716. Springer-Verlag, November 2005, pp. 270–287.

- [10] D. L. McGuinness, “Conceptual Modeling for Distributed Ontology Environments,” in *International Conference on Conceptual Structures*, 2000, pp. 100–112. [Online]. Available: citeseer.ist.psu.edu/mcguinness00conceptual.html
- [11] N. F. Noy and D. L. McGuinness, “Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology,” Stanford University School of Medicine, Tech. Rep. SMI-2001-0880, 2001.
- [12] M. Uschold and M. Grüninger, “Ontologies: principles, methods, and applications,” *Knowledge Engineering Review*, vol. 11, no. 2, pp. 93–155, 1996. [Online]. Available: citeseer.ist.psu.edu/uschold96ontology.html
- [13] M. Grüninger and M. S. Fox, “Methodology for the Design and Evaluation of Ontologies,” in *IJCAI’95, Workshop on Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing, April 13, 1995*, 1995. [Online]. Available: citeseer.ist.psu.edu/gruinger95methodology.html
- [14] A. Gómez-Pérez, M. Fernández, J. Pazos, and A. Pazos, “Building a Chemical Ontology Using Methontology and the Ontology Design Environment,” *IEEE Intelligent Systems*, vol. 14, no. 1, pp. 37–46, 1999.
- [15] O. Corcho, M. Fernández, and A. Gómez-Pérez, “Methodologies, tools and languages for building ontologies: where is their meeting point?” *Data Knowl. Eng.*, vol. 46, no. 1, pp. 41–64, 2003.
- [16] M. Uschold, “Building Ontologies: Towards a Unified Methodology,” in *16th Annual Conf. of the British Computer Society Specialist Group on Expert Systems*, Cambridge, UK, 1996. [Online]. Available: citeseer.ist.psu.edu/uschold96building.html
- [17] T. R. Gruber, “Towards Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing,” in *Formal Ontology in Conceptual Analysis and Knowledge Representation*, N. Guarino and R. Poli, Eds. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1993. [Online]. Available: citeseer.ist.psu.edu/gruber93toward.html
- [18] “The SENSUS Ontology.” [Online]. Available: <http://www.isi.edu/natural-language/projects/ONTOLOGIES.html>
- [19] “Cyc.” [Online]. Available: <http://www.cyc.com>
- [20] “Protégé.” [Online]. Available: <http://protege.stanford.edu>
- [21] “RacerPro.” [Online]. Available: <http://www.sts.tu-harburg.de/~r.f.moeller/racer>
- [22] “Sesame.” [Online]. Available: <http://www.openrdf.org>
- [23] “SWOOP.” [Online]. Available: <http://www.mindswap.org/2004/SWOOP>
- [24] “Cyc.” [Online]. Available: <http://webode.dia.fi.upm.es/WebODEWeb/index.html>
- [25] “Aduna Software.” [Online]. Available: <http://www.aduna-software.com>
- [26] “Proyecto Cantiga.” [Online]. Available: <http://cantiga.germinus.com>
- [27] R. Leonardi and P. Migliorati, “Semantic Indexing of Multimedia Documents,” *IEEE MultiMedia*, vol. 9, no. 2, pp. 44–51, 2002.
- [28] S. Bloehdorn, N. Simou, V. Tzouvaras, K. Petridis, S. Handschuh, Y. Avrithis, I. Kompatsiaris, S. Staab, and M. G. Strintzis, “Knowledge Representation for Semantic Multimedia Content Analysis and Reasoning.” *Proc. of European Workshop on the Integration of Knowledge, Semantics and Digital Media Technology (EWIMT)*, London, U.K., November 25–26, 2004, 2004. [Online]. Available: <http://www.image.ece.ntua.gr/publications.php>
- [29] A. Swartz, “MusicBrainz: A Semantic Web Service,” 2002. [Online]. Available: citeseer.ist.psu.edu/swartz02musicbrainz.html
- [30] E. Hyvönen, M. Junnila, S. Kettula, E. Mäkelä, S. Saarela, M. Salminen, A. Syreeni, A. Valo, and K. Viljanen, “Publishing Museum Collections on the Semantic Web - The MuseumFinland Portal.” [Online]. Available: citeseer.ist.psu.edu/710535.html
- [31] “The Music Ontology.” [Online]. Available: <http://musicontology.com>
- [32] “Music Vocabulary.” [Online]. Available: <http://www.kanzaki.com/ns/music>
- [33] “Otomúsica.” [Online]. Available: <http://www.rodriago.goulart.nom.br/feevale/otomusica>
- [34] F. Pachet, “A Taxonomy of Musical Genres,” 2000. [Online]. Available: citeseer.ist.psu.edu/pachet00taxonomy.html
- [35] “International Association of Music Libraries, Archives and Documentation Centres.” [Online]. Available: <http://www.iaml.info>
- [36] “mSpace.” [Online]. Available: <http://mSpace.fm>
- [37] “CIA - The World Factbook.” [Online]. Available: <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook>
- [38] “DBpedia.” [Online]. Available: <http://dbpedia.org>

²Nótese que en la base de conocimiento no tiene por qué existir información que relacione directamente las clases magistrales con los compositores de las obras que se interpretan en ellas.