

Uso de una red de ontología para interoperar estándares de datos de productos industriales

Alvaro Luis Fraga, Marcela Vegetti, Horacio Leone

Instituto de Desarrollo y Diseño,
CONICET-UTN,
Argentina

{alvarofraga,mvegetti,hleone}@santafe-conicet.gob.ar

Resumen. Las industrias de todo el mundo han sufrido las consecuencias que trajo la globalización. Este fenómeno impactó en la competitividad de las industrias, obligándolas a integrar sus procesos productivos con otras industrias distribuidas geográficamente. Por lo tanto, las industrias para poder afrontar esta situación deben reorganizarse y encontrar formas de compartir los modelos comunes que puedan ser manejados por los sistemas de información involucrados. Una de las organizaciones que más ha aportado a solucionar esta problemática es la Organización Internacional de Estándares (ISO) con el subcomité 4 del comité 184, el cual se dedica a publicar normas de datos de productos industriales, pero la mayoría de estas normas no son interoperables entre sí. En este trabajo presentamos una solución para alcanzar la interoperabilidad semántica entre distintos modelos de datos. Para esto se presenta la estructura de una red de ontologías y un caso de estudio, demostrando que la propuesta tiene la capacidad de alcanzar la interoperabilidad semántica para estándares, modelos y vocabularios para la industria de la manufactura.

Palabras clave. Interoperabilidad, ontología, datos industriales.

Using Ontology Network to Interoperate Product Industrial Data Standards

Abstract. Industries across the world have suffered the consequences that brings the globalization. These phenomenon impacts on the competitive capacity of industries, forcing them to integrate their production processes with other geographically distributed industries. Hence, Industries must reorganize

and find suitable ways to share the common models that handle their information systems. One of the organizations that has contributed most to solving this problem is the International Organization for Standardization (ISO), particularly speaking of the Committee 184/Subcommittee 4, which is dedicated to publish industrial product data standards, but most of these standards are not interoperable with each other. In this paper we present a solution for achieving semantic interoperability between different data models. For this purpose, the ontology network structure and a case study are presented, demonstrating that the proposal has the capacity to achieve semantic interoperability for standards, models and vocabularies for the manufacturing industry.

Keywords. Interoperability, ontology, industrial data.

1. Introducción

Los efectos de la globalización han modificado los escenarios en los que la economía se desenvolvía. Las industrias fueron alcanzadas por este fenómeno y vieron como ventaja competitiva buscar aliados en industrias geográficamente distribuidas para colaborar en sus procesos productivos. Lograr esta colaboración implica que los sistemas de información de las industrias puedan compartir sus conocimientos y modelos de datos.

Los sistemas de información deben ser adaptados o modificados para seguir siendo útiles en estos nuevos escenarios, donde es probable

que deban interactuar con otros sistemas de áreas diferentes.

La capacidad de un sistema de información (SI) para intercambiar información con otros sistemas se denomina "interoperabilidad"[29]. David Chen presenta en su trabajo Enterprise Interoperability Framework [3], parte de INTEROP Network of Excellence, tres grandes categorías en las que se puede dividir la interoperabilidad. Estos son:

- Técnica: trata de superar las incompatibilidades entre las diferentes tecnologías de información.
- Organizacional: se enfoca en la definición de responsabilidades, autoridad, y estructura.
- Conceptual: concierne a la parte sintáctica y semántica de la información que debe ser compartida.

Este artículo se enfoca en la interoperabilidad conceptual, más precisamente en un subgrupo dentro de la misma, la interoperabilidad semántica. Esta interoperabilidad es necesaria para lograr integrar los procesos productivos entre distintas industrias de manera efectiva. Pudiendo resolver problemas que potencialmente surjan al tratar de integrar los sistemas de información, como es la existencia de múltiples definiciones para un mismo término o el uso de múltiples términos para referirse a un mismo concepto. Para compartir las conceptualizaciones de los términos involucrados es necesario utilizar técnicas, tecnologías, normas y políticas consensuadas entre los participantes.

Los estándares, son un buen punto de apoyo para llevar a cabo esta tarea. Sin embargo, existen varios estándares enfocados en la representación de conceptos de diferentes áreas de las industrias y, en general, su integración también requiere la solución de algunos problemas semánticos.

En los sistemas de información pertenecientes a la industria, donde los términos utilizados son compartidos y entendidos por los expertos, los estándares han tenido bastante aceptación para facilitar la interoperabilidad, especialmente en los que intercambian datos geométricos de productos.

Entre los estándares publicados con el propósito de resolver el problema de la interoperabilidad de

los sistemas que administran los datos del ciclo de vida de producto en las industrias, se puede destacar los que presenta el comité técnico 184 subcomité 4 de la Organización Internacional de Estándares (ISO) [7].

A pesar que los estándares definidos por el comité mencionado buscan resolver los problemas de interoperabilidad, cuando se implementan en conjunto algunos de estos estándares se detectan potenciales problemas semánticos en el manejo de la terminología [38]. Algunos ejemplos de estos problemas semánticos se introducen en la siguiente sección.

Debido a que el uso conjunto de los estándares definidos por el comité 184 subcomité 4 presenta inconsistencia semánticas, conseguir la interoperabilidad de los sistemas que los implementan representa un gran desafío [8]. Para superarlo este trabajo propone una red de ontologías que actúa como intermediaria entre los sistemas heterogéneos que implementan un conjunto de estándares del mencionado comité. Las ontologías que forman parte de esta red están implementadas utilizando tecnologías y lenguajes de la Web Semántica.

En particular, se ha utilizado el lenguaje OWL (Ontology Web Language) para la definición de las ontologías, SWRL (Semantic Web Rule Language) para la definición de alineaciones entre conceptos de las distintas ontologías y el lenguaje de consulta SPARQL para la recuperación de información.

El contenido de este artículo está organizado de la siguiente manera. En la sección II se introducen los trabajos relacionados que aportaron a la motivación de este artículo. La sección III describe un resumen del contexto del problema y detalla la red de ontologías propuesta, especificando la arquitectura, sus niveles, relaciones e interacción entre los componentes de esta. La sección IV, presenta una descripción de la integración de la formalización de los estándares ISO 10303-49 e IDEF3 (Integrated DEFinition for Process Description Capture Method) a la red propuesta. Finalmente, la sección V aborda las conclusiones y trabajo futuro.

2. Motivación y trabajos relacionados

Un área de investigación que ha surgido para mantener y gestionar de manera eficiente los modelos de información apuntando a mejorar el desarrollo y trabajo colaborativo entre todos los actores involucrados en la industria de la manufactura [32] es la gestión del ciclo de vida de productos (PLM). Este área resulta un reto en la práctica de la ingeniería al ser un campo, donde distintas disciplinas intervienen en la gestión de los productos, sin mencionar el escenario en el que se desempeñan las nuevas industrias, distribuidas geográficamente. Diferentes normas coexisten para las diversas funciones de manufactura, lo que hace prácticamente imposible llegar a un acuerdo sobre la utilización de un único estándar.

A pesar que los estándares, buscan consensuar las conceptualizaciones de los términos utilizados y proveer modelos de soporte en un determinado dominio, en el caso de las industrias que manejan modelos de productos informatizados buscan poder implementarse y uno de los objetivos es resolver los problemas de interoperabilidad. Mas aún, los estándares pueden servir como base para generar modelos que faciliten la integración con distintas tecnologías [14].

No obstante, como se ha mencionado en la sección anterior, cuando se implementan en conjunto estándares pueden provocar potenciales problemas semánticos [38].

Los términos, específicos de distintas áreas, pueden presentar ambigüedades en su conceptualización, debido a la falta de un consenso sólido entre los expertos que desarrollan los estándares. En particular, los problemas que se hallaron tras un análisis de estos estándares son los siguientes:

- Falta de compatibilidad entre los modelos de información y el vocabulario utilizado por cada uno.
- Falta de formalización en los conceptos que impide el procesamiento automático de la información.
- Definiciones de términos en diferentes estándares no son consistentes.

Ejemplos de los problemas señalados anteriormente pueden verse reflejados en las tablas 1, 2 y 3.

Tabla 1. Definiciones del termino recurso

Recurso	Cualquier dispositivo, herramienta o medio, exceptuando la materia prima y productos finales, los que pueden servir para producir bienes o servicios. ISO 15531-1, ISO 18629-1.
	Resultado de proceso. ISO 10303-239.
	Hecho, conceptos, o instrucciones acerca de un producto. ISO 10303-232.

Tabla 2. Definiciones de producto, proceso y recurso

Proceso	Un procedimiento particular para hacer algo que involucre uno o más pasos u operaciones. Un Proceso puede producir un producto, una propiedad de un producto, o un aspecto de un producto. ISO 10303-49.
Recurso	Resultado de un Proceso. ISO 10303-239.
Producto	Cosa o sustancia producido por un proceso natural o artificial. ISO 10303-1, ISO 15531-32.

La Tabla 1 muestra las diferentes definiciones que se especifican para el término *Recurso* que se presentan en los estándares ISO 15531-1, ISO 18629-1, ISO 10303-239 e ISO 10303-232. Este término al poseer múltiples definiciones puede generar ambigüedades en su interpretación, produciendo inconvenientes en las implementaciones de los modelos en los sistemas de gestión del ciclo de vida de producto.

La Tabla 2, muestra un ejemplo de otras tres definiciones de términos importantes como son

Tabla 3. Definiciones de recurso, producto e información de producto

Recurso	Hechos, conceptos, o instrucciones acerca de un producto. ISO 10303-232.
Producto	Hechos, conceptos, o instrucciones. ISO 13584-102.
Información de Producto	Hechos, conceptos, o instrucciones acerca de un producto. ISO 10303-1.

las de *Recurso*, *Proceso* y *Producto*. Dichas definiciones señalan que tanto *Recurso* como *Producto* son el resultado de un *Proceso*, mientras que *Proceso* es definido como un procedimiento particular que puede producir un *Producto*, una propiedad o aspecto de éste. Lo que llevaría a razonar que un *Recurso* es una propiedad o aspecto del *Producto* o que un *Recurso* es un *Producto*.

La Tabla 3 señala, como tres términos distintos (*Recurso*, *Producto* e *Información de Producto*) poseen la misma definición, pudiendo ocasionar que los actores infieran que estos términos son equivalentes.

No cabe duda que la estandarización ha ayudado a mejorar la interoperabilidad, al menos a nivel sintáctico en varios dominios. Sin embargo, las normas relativas a la representación semántica de la información son mucho más difíciles de acordar. Por esta razón, las ontologías han tenido gran apoyo por parte de la academia como una posible herramienta para facilitar la reutilización e intercambio del conocimiento entre los distintos sistemas de una industria sin ambigüedad [27].

A su vez, el World Wide Web Consortium (W3C) creó la iniciativa de la Web Semántica, la cual tuvo como objetivo desarrollar estándares y tecnologías para que los sistemas de información puedan ser capaces de entender más información de la Web soportando la integración de datos, navegación, y automatización de tareas [20]. Dentro de esta iniciativa fue propuesto el lenguaje OWL (Ontology Web Language) [23]. A partir de la aparición del lenguaje OWL, la academia empezó a aprovechar sus capacidades para resolver problemas como

la interoperabilidad semántica entre sistemas heterogéneos distribuidos como se presenta en este trabajo.

La definición de modelos de producto basados en ontologías para dar soporte a los sistemas PLM es un área específica de investigación en el que este trabajo se enfoca. La academia ha ido desarrollando gran cantidad de aportes a esta temática, tratando de dar solución al problema de la interoperabilidad semántica y reutilización de las bases de conocimiento que están involucradas en las diferentes etapas de desarrollo de productos.

Lin y Harnding [21], presentan un modelo semántico para dar soporte a los sistemas de fabricación de productos y diseño usando tecnologías de la Web Semántica, codificando este modelo en OWL para generar un moderador para reusar e intercambiar información en un entorno empresarial distribuido. Yang et al. [37] proponen una ontología de configuración de producto de dominio general, a partir de la cual se pueden derivar modelos de configuración de productos de dominio específicos. Esto permite la reutilización del conocimiento y facilita el proceso de modelado de la configuración de producto.

PRoduct ONTOlogy (PRONTO) es una ontología para modelado de dominio de producto, que permite manejar de manera eficiente las variantes de productos. Se enfoca en la jerarquía estructural de productos. Esta jerarquía es una herramienta que permite manejar la información asociada con las múltiples recetas o procesos disponibles para producir un producto en particular o un conjunto de productos similares [35]. Una extensión de PRONTO ha sido propuesta en [11] donde describen las bases para un sistema de administración distribuida de datos de producto (DPDM), con la idea manejar información de producto usando dos tipos de jerarquías: una jerarquía de abstracción y una jerarquía estructural.

OntoSTEP [15] es una ontología desarrollada a partir de la transformación del Estándar para el Intercambio de Datos de Modelo de Producto (STEP) usando OWL. Aunque el estándar es utilizado para la representación geométrica de productos, los autores extendieron la definición del modelo más allá de los conceptos geométricos con el agregado del modelo de producto básico (Core

Product Model) y el modelo abierto de ensamblado (Open Assembly Model).

Onto-PDM [24] está enfocado en la conceptualización, fusión y reúso de conocimiento embebido en estándares existentes para datos técnicos de producto (ISO 10303) y datos de sistemas ERP/MES (IEC 62264). Esta propuesta tiene como fin definir una ontología formal de producto para alcanzar la interoperabilidad de aplicaciones empresariales, centradas en el desarrollo y producción de productos.

SPIKE es un enfoque basado en ontología para intercambiar información del ciclo de vida de producto entre distintos sistemas PLM. La idea no está limitada a estos sistemas, sino también intenta ser útil para los Planificadores de Recurso Empresarial (ERP) [2], pero no incluyen sistemas de Diseño Asistidos por Computadora (CAD) o que manejen datos tridimensionales. Otras propuestas han sido presentadas que incluyen la interoperabilidad entre sistemas: CAD y Administradores de Datos de Producto (PDM) [26]; PDM y ERP [25]; ERP y MES [33].

La propuesta presentada en [26] convierte los modelos hechos en sistemas CAD en una Lista de Materiales Ingenieriles (EBOM) independiente del sistema usado, para luego poder usarse en sistemas PDM. Se encuentra limitado por el uso de la tecnología, por lo que no pueden propagar eventos de modificación causados en uno u otro sistema en un mismo modelo.

En [25] se introduce un marco de trabajo en el que se usan estándares abiertos para lograr transferir datos de producto entre sistemas PDM a ERP o viceversa. Sin embargo, la implementación carece de funciones esenciales como la administración de diversos productos y la propagación de los cambios.

El enfoque propuesto en [33] está basado en la coincidencia de conceptos de distintas ontologías de Producto que fueron desarrolladas con el uso de estándares. Sin embargo, el mismo no describe implementaciones funcionales.

Otros enfoques limitan su alcance a un dominio de aplicación particular, desde telecomunicaciones [5], procesos de negocios [30] e industria de procesos [13, 22], productos a base de inyección

de plástico [6], versionado de productos [31], hasta la industria del software [19].

Sin embargo, ninguna de estas contribuciones ha encontrado suficiente aceptación en la práctica industrial [36]. Un posible motivo es el hecho de que varias industrias ya tienen implementados sistemas que se basan en los estándares del mencionado comité, y la adopción de alguna de las propuestas presentada en los párrafos previos, implicaría modificaciones importantes en sus sistemas. Teniendo en cuenta esta situación, la presente propuesta busca formalizar los estándares del comité mencionado e integrarlos en una red de ontologías que permita la interoperabilidad semántica.

En [9] se identifican algunos problemas semánticos de un conjunto de estándares pertenecientes a la ISO TC184/SC4 y se provee una primera arquitectura de alto nivel como propuesta para resolver los problemas de interoperabilidad semántica entre sistemas heterogéneos que implementan estos estándares. La propuesta presentada en dicho trabajo es extendida en el presente trabajo mediante la definición más detallada de los niveles propuestos. En particular se define un mecanismo para la incorporación de nuevos estándares a la red. Asimismo, la aplicación de la propuesta en un caso de estudio es también presentada en este artículo. En la siguiente sección se describe la propuesta.

3. Red de ontología propuesta

En esta sección se discute el contexto, propósito, la arquitectura y términos involucrados en la Red de Ontología multinivel, la cual servirá para resolver el problema de la interoperabilidad semántica entre distintos sistemas de información que soportan las diferentes fases del ciclo de vida del producto. Implementando múltiples niveles que comprenden términos que representan desde lo general hasta el último que integra las formalizaciones en OWL de los estándares publicados por el comité técnico 184 subcomité 4 de la Organización Internacional de Estándares.

Se comenzará describiendo la arquitectura que soporta la red de ontología, los niveles y propósitos de estos.

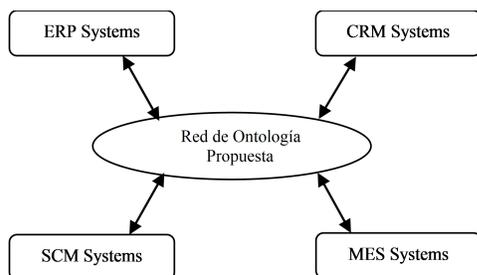


Fig. 1. Interoperabilidad Semántica mediante la Red de Ontología

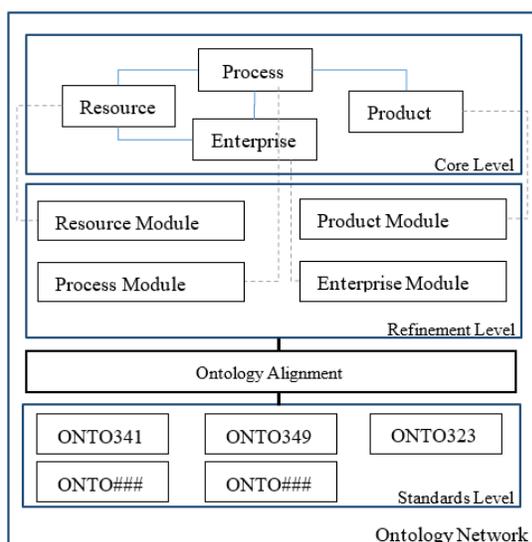


Fig. 2. Arquitectura de Tres Niveles de la Red de Ontologías Propuesta

Adicionalmente se introduce el método de verificación e implementación de esta arquitectura y las tecnologías utilizadas.

3.1. Arquitectura multinivel

La figura 1 esquematiza la red de ontologías propuesta, la misma actúa como mediador entre los diferentes sistemas industriales. Este enfoque garantiza que la propuesta abarque un gran espectro de acción sobre distintos dominios de aplicación y a través de las etapas del ciclo de vida de producto. Es importante mencionar que, la propuesta sirve no solo para resolver la interoperabilidad entre sistemas que emplean los

estándares de comité antes mencionado, sino para todos aquellos sistemas que implementen algún tipo de vocabulario, modelo o estándar que pueda ser formalizado por una ontología en OWL.

La arquitectura de la red de ontología (Figura 2), consta de varios niveles. Cada una de estas capas tiene un alcance, refiriéndose al detalle que va refinando los términos más importantes del ciclo de producto, ya sea de manera general o específica a un estándar, modelo o vocabulario. Los niveles de la red son los siguientes:

- Nivel Principal (Core Level): define un conjunto de términos considerados como claves en toda industria de manufactura.
- Nivel de Refinamiento (Refinement Level): contiene ontologías modulares que especifican un conjunto de términos comunes a varios estándares, que permiten refinar los conceptos definidos en la capa superior.
- Capa de Alineamiento (Inter-middle Alignment Level): proporciona las reglas de inferencia necesarias para igualar los términos introducidos en el nivel intermedio e inferior.
- Nivel de Estándares (Standards Level): agrupa un conjunto de ontologías que formalizan cada uno de los estándares y/o partes de estándares que por medio de reglas definidas en la capa de alineamiento permite la interoperabilidad entre las formalizaciones presentes en este nivel.

3.1.1. Descripción del nivel principal

En la Figura 3, se observa el esquema conceptual del nivel principal "Core Level". Compuesta por una ontología que especifica cuatro términos: *Process*, *Product*, *Resource* y *Enterprise*. Estos términos son considerados por Zhao et al. [39], Lin y Harding [21], Chungoora et al. [4] y Usman et al. [34] como principales de toda industria de manufactura. A su vez, la figura señala las relaciones entre los términos y los estándares que los definen.

Se decidió asociar los términos *Product* y *Process* a causa de la definición de *Process* en ISO 10303-49 [16], la cual enuncia: "Un

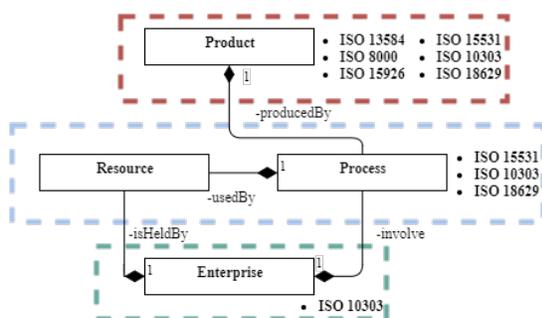


Fig. 3. Esquema conceptual del nivel principal

procedimiento particular para hacer algo que involucra uno o más pasos u operaciones. El proceso puede producir un producto, una propiedad de un producto o un aspecto de un producto”.

El término *Process* aparece relacionado a *Enterprise* en los estándares ISO 15531 [18] e ISO 18629 [17]. Ambos estándares describen a *Process* como: “Conjunto de actividades involucrando varias entidades empresariales que están organizadas con un propósito”. Asimismo, *Enterprise* es definido en ISO 100303-239, como una o más organizaciones con un conjunto de metas y objetivos para ofrecer productos y/o servicios.

3.1.2. Descripción del Nivel de Refinamiento

El nivel de refinamiento posee cuatro ontologías individuales, que llamamos módulos. Los módulos tienen como función, especificar los términos que se ven fuertemente relacionados con los introducidos en el primer nivel, es decir, *Process*, *Product*, *Resource* y *Enterprise*, extendiendo así, sus definiciones en la arquitectura.

Las Figuras 4, 5, 6 y 7 ilustran los diagramas que corresponden a cada uno de los módulos de la capa de refinamiento de la arquitectura. Es preciso remarcar que estos módulos no se encuentran aislados, sino que se relacionan por medio del término del nivel principal, como se puede apreciar en las figuras. Esto permite mantener el contexto de las conceptualizaciones de los términos involucrados, es decir, que cada

módulo únicamente integra términos referentes al término con el que se relaciona del nivel principal.

Los términos seleccionados para integrar cada módulo son los que con frecuencia son mencionados a lo largo de los estándares publicados por el ISO TC184/SC4. Además, se puede mencionar la existencia de relaciones binarias entre términos de diferentes módulos por medio de propiedades que se encuentran enunciadas en los estándares, este es el caso de *Process_Material*.

El módulo del término *Process*, que se muestra en la Figura 4 incluye los términos *Natural_Process*, *Artificial_Process*. Estos dos términos participan de la definición de *Product* en los estándares ISO 8000, ISO 10303, ISO 13584, ISO 15531, ISO 15926, ISO 18629. En la Figura 4, se observa que el término *Procedure* materializa al término *Process*, de acuerdo con su definición en ISO 10303. Una *Process_Activity* es un paso u operación que forma parte de un *Process* y *Procedure_Activity* es una ejecución específica de un *Process_Activity*. El recurso requerido para ejecutar un *Process_Activity* se denomina *Process_Material*. El conjunto de procesos necesarios para fabricar un producto, están vinculados por medio de un *Process_Plan*, el cual se ejecuta en una *Process_Plant*.

En la Figura 5 se presenta el diagrama que corresponde al módulo del término *Product*. En dicha figura se observa los términos *Instruction*, *Fact*, y *Concept* como especializaciones de *Product_Information*. El término *Instruction* describe información sobre cómo hacer o cómo usar algo, mientras que *Fact* es la información atómica del producto y *Concept* es la noción o idea acerca del mismo.

En el estándar ISO 10303-1, se mencionan dos definiciones para el término *Product*, una de ellas es la misma para *Product_Information*. En la propuesta se introduce el concepto *Product_Information* al módulo de *Product* y se lo asocia al concepto mediante la relación, *definedBy*. Se observa en la figura que también aparecen en el diagrama los términos *Substance* y *Thing* como subsunción del término *Product*. Esta decisión se fundamenta en que los estándares ISO 8000, ISO 10303, ISO 13584, ISO 15531, ISO 15926 y ISO 18629, definen a *Product* como una

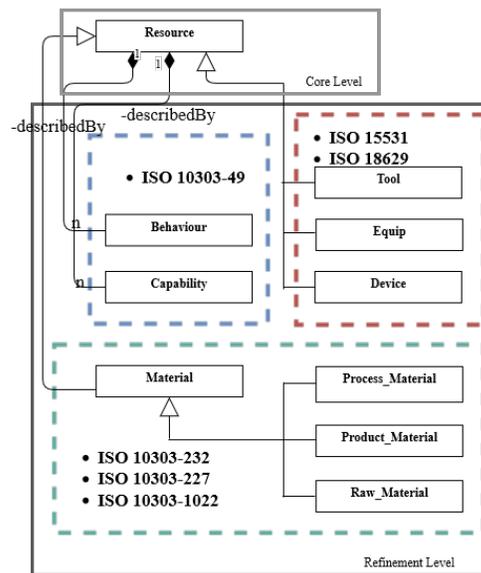


Fig. 6. Términos del Módulo *Resource*

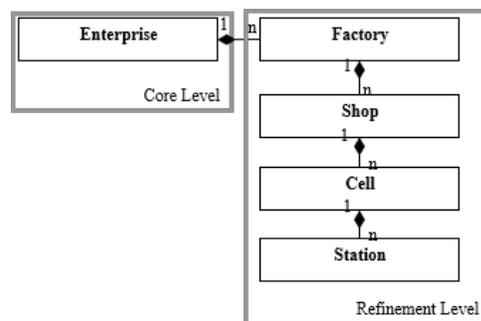


Fig. 7. Términos Pertencientes al Módulo *Enterprise*

En la subsección siguiente se describe el como se llevo a cabo la implementación de la red de ontologías y que tecnologías se han utilizado.

3.2. Implementación

La implementación de la red de ontología se realizó en OWL (Ontology Web Language) utilizando el editor Prótegé 5.2.0. El proceso comenzó por la codificación de todas ontologías por separado. El archivo principal conteniendo la ontología del nivel principal de la red, fue llamado CoreConcepts.owl.

Los archivos conteniendo las codificaciones de los módulos que forman al nivel de refinamiento (Resource, Product, Process y Enterprise) fueron llamados ResourceMod.owl, ProductMod.owl, ProcessMod.owl y EnterpriseMod.owl.

Los módulos del nivel de refinamiento: Product Module, Process Module, Resource Module y Enterprise Module, se encuentran implementados de manera aislada en el lenguaje OWL. Estas cuatro ontologías son importadas en la ontología principal para su uso. Los términos de nivel de refinamiento, a su vez se vinculan tanto de manera vertical como horizontal. Es decir, se encuentran propiedades que pueden vincular a las entidades de un módulo con entidades de otro adyacente, como también, con el término principal que da nombre al módulo.

El nivel de estándares consta de un archivo codificado en OWL, por cada estándar adaptado. Estos archivos son importados en la ontología principal, en conjunto con reglas SWRL necesarias para lograr un emparejamiento con los términos definidos en la capa de refinamiento.

Recapitulando, en esta sección se ha presentado la red de ontología, su arquitectura e implementación, como así también algunas preguntas de competencia en SPARQL que permiten validar la red, así como obtener información de las entidades.

3.3. Verificación de la red de ontología

Cuantificar la calidad de una ontología puede dificultarse, debido a la ausencia de un método formal aceptado que tenga en cuenta todos los criterios (coherencia, concisión, inteligibilidad, adaptabilidad, compromiso ontológico mínimo, etc.) que pueden aplicarse para evaluar las ontologías de dominio.

Según Gómez-Pérez [12], la fase de evaluación ontológica comprende tres aspectos: i) validación ontológica, ii) verificación ontológica y iii) evaluación ontológica. Las actividades de validación y verificación están asociadas con un juicio técnico del contenido de la ontología con respecto a un marco de referencia, que están asociadas a la especificaciones de requisitos, preguntas de competencia o el mundo real.

La validación está relacionada con el reflejo del dominio en la definición y modelado de la ontología, mientras que la verificación intenta probar que las definiciones de ontología implementan correctamente los requisitos de ontología, esto último relacionado con las preguntas de competencia [1]. A su vez, la evaluación se centra en juzgar el contenido de la ontología desde el punto de vista del usuario y la aplicación de esta en el dominio para la que fue creada.

Esta red de ontología se verifica por cada integración que se realiza en el último nivel por medio de las preguntas de competencia. Las preguntas de competencia se formalizaron empleando el lenguaje de consulta SPARQL normalizado por la W3C. La estructura para realizar dichas consultas consta de dos partes principales, delimitadas por el uso de palabras claves. La primera parte comienza con la declaración de la palabra clave SELECT, a continuación, se anexa los nombres de las variables que se desean que retorne la ejecución de la consulta. La segunda parte de estas consultas está compuesta por la estructura que comienza con la palabra clave WHERE, en dicha porción se debe detallar patrones de tripletas que se desean localizar dentro de la ontología, aplicando también los nombres de las variables que se desean devolver por la porción delimitada por la palabra clave SELECT.

Otras secciones pueden ser declaradas dentro de la consulta mediante el uso de otras palabras claves, por ejemplo, la palabra clave FILTER, dicha palabra clave permite separar subconjuntos de tripletas utilizando condiciones lógicas o expresiones regulares.

En la Tabla 4, la primera fila muestra la pregunta “¿Qué recursos necesita el proceso X?”. Esta pregunta puede ser transformada en un equivalente en SPARQL, la cual se presenta en la segunda columna de la misma fila. La consulta devuelve la variable *?resource*, que es usada en el patrón de tripletas declarado por la porción de la palabra clave WHERE, que indica que dicha variable se encuentra relacionada, a través de la propiedad *tc:usedBy* con otra variable denominada *?process*, la que es empleada en la última porción de la consulta para buscar coincidencias de palabras ingresada en la función *regex*, la cual

es aplicada para definir expresiones regulares y así filtrar resultados de las tripletas identificadas. Resumiendo, lo que esta consulta devuelve son los individuos que estén relacionados por la propiedad *tc:usedBy*, con determinados valores de cadena de caracteres en la variable *?process*.

La siguiente pregunta “¿Qué recursos son necesarios para ejecutar un plan de proceso?”, tiene como propósito retornar los recursos que se ven involucrados a lo largo de un plan de proceso. Esta se diferencia de la anterior en que devuelve todos los recursos involucrados en el conjunto de procesos asociados a un plan determinado. Al igual que la consulta anterior, se puede escribir un equivalente en SPARQL para ejecutarla sobre la base de conocimiento. La misma emplea una variable de retorno que representa a los individuos del término *Resource* asociados, por medio de la propiedad *tc:usedBy*, con el término *Process*. A su vez se declara el patrón de tripleta que relaciona a los individuos del término *Process*, representados por la variable *?process*, con los individuos del término *Process.Plan*, representados por la variable *?process_plan*, por último, se declara un filtro para definir, como en el caso anterior, el nombre del plan de proceso del cual se desean conocer los recursos para su ejecución.

La última pregunta de la Tabla 4, “¿Qué productos hacen uso de un recurso X?”, retorna los productos, mediante la declaración de la variable *?product*, que a lo largo de su proceso de fabricación necesitan o requieren de un respectivo recurso, que es representado por la variable *?resource*, la que en la consulta presentada posee un filtro para identificar ese recurso necesario.

A continuación, se describe el proceso para incorporar nuevas ontologías a este nivel de la arquitectura.

3.4. Extensión de la red propuesta mediante la incorporación de nuevos modelos de datos

El proceso de incorporación es importante en la presente propuesta debido a la flexibilidad que aporta a la red de ontologías. Esta red es capaz de proveer mediación entre diferentes modelos de datos del dominio de la manufactura, no tan

solo aquellos estándares que forman parte del comité técnico 184 subcomité 4, sino que además se pueden incorporar vocabularios, modelos, estándares que no pertenezcan al mencionado comité simplemente agregando su formalización en OWL en el último nivel de la red.

El proceso de integración de nuevo modelos de datos a la Red, comienza seleccionando el estándar, lenguaje, vocabulario o modelo que necesita ser integrado con otros estándares ya incorporados a la red. Una vez realizada esta selección, se identifican las fuentes de información que se utilizarán para desarrollar la ontología. Estas fuentes de información pueden ser ontológicas o no ontológicas. Dentro de las ontológicas, es posible destacar diversas contribuciones por parte de la academia de ontologías basadas en estándares o modelos.

Por otro lado, las fuentes no ontológicas representan los documentos que describen las conceptualizaciones de términos, relaciones y restricciones entre términos. Las normas publicadas por el ISO TC186/SC4 se encuentran en esta categoría.

Una vez identificadas este tipo de fuentes, son estudiadas y analizadas para construir una nueva ontología a partir de ellas. Un proceso semiautomático para la adaptación de estos documentos en ontologías codificadas en OWL, ha sido propuesto por los autores en [10], pero su descripción está fuera del alcance del presente artículo. La ontología obtenida como resultado de dicho proceso es, entonces, estudiada para fusionarla con las extraídas de las fuentes ontológicas pudiendo completar y mejorar las definiciones de los términos presentes en la primera.

Una vez realizada la actividad de fusión de ontologías, se la somete a una evaluación. Se proponen dos herramientas diferentes para esta actividad. El primero es OOPS! Scanner [28], el cual se emplea para encontrar errores de diseño comunes y verificar la consistencia de la ontología. La segunda consiste en usar preguntas de competencia escritas en el lenguaje de consulta SPARQL para verificar si cumple los requisitos establecidos para la incorporación de la nueva ontología.

Tabla 4. Preguntas de Inferencia en SPARQL

Pregunta	Consulta
¿Qué recursos necesita el proceso X?	SELECT ?resource WHERE ?resource tc:usedBy ?process. FILTER regex(str(?process), "<process_name >\$")
¿Qué recursos son necesarios para ejecutar un plan de proceso?	SELECT ?resource WHERE ?resource tc:usedBy ?process. ?process tc:requiredBy ?process_plan FILTER regex(str(?process_plan), "<product_name >\$")
¿Qué productos hacen uso de un recurso X?	SELECT ?resource WHERE ?process tc:requiredBy ?process_plan. ?process tc:produce ?product. ?resource tc:usedBy ?process. FILTER regex(str(?product), " <resource_name >\$")

Si la ontología pasa ambas pruebas, se importa a la red ontológica como parte de su nivel de estándares.

A continuación, se definen un conjunto de reglas SWRL para alinear la nueva ontología incorporada con los conceptos ya definidos por la red. Luego, la red actualizada es verificada utilizando una vez más las preguntas de competencia. Estas preguntas fueron definidas en la fase de educación de requisitos de la red de ontología, algunas de las mismas se pueden apreciar en la Tabla 4.

En la siguiente sección se ilustra cómo se incorporan dos estándares, uno del comité ISO mencionado y otro que no pertenece al mismo, a la red de ontologías. Con este caso de estudio, se evidencia la utilidad de la red propuesta para interoperar sistemas que implementen o hagan uso de los estándares del ISO TC184/SC4, así como también para abordar problemas de inter-

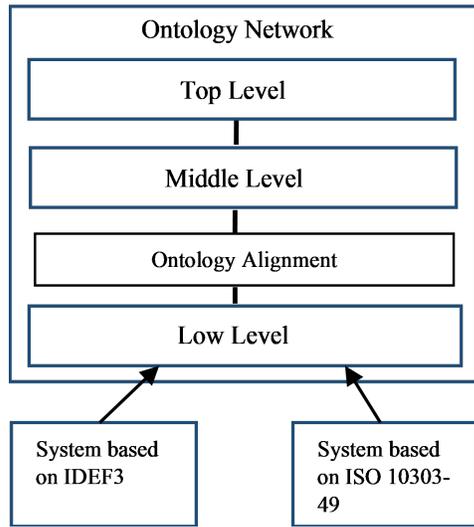


Fig. 8. Componentes del Caso de Estudio

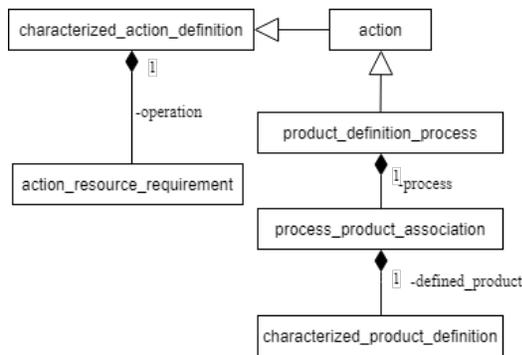


Fig. 9. Fragmento de ISO 10303-49

operabilidad entre distintos sistemas industriales que no utilicen estándares ISO.

4. Caso de estudio

En esta sección se presenta un caso de estudio, en el cual se pone a prueba la red de ontología mostrando su alcance, validez y utilidad mediante la incorporación del estándar ISO 10303-49 y el lenguaje de modelado de procesos IDEF3 a la red propuesta.

En la Figura 8 se muestra un esquema genérico, ilustrando el rol y la función de mediador que ejerce la red de ontología entre los dos sistemas que

implementan cada uno de los modelos. A partir de estos sistemas se obtendrán los individuos que poblarán las diferentes ontologías que tienen la red propuesta. Uno de los sistemas basado en IDEF3 y el otro adhiere al estándar ISO 10303-49.

Como primer paso para lograr la integración semántica de estos dos sistemas, es necesaria la creación e instanciación de las ontologías que formalicen los conceptos de IDEF3 y de ISO 10303-49, que serán incorporadas al nivel inferior de la red. Asimismo, es necesario la definición de un componente de alineamiento entre estas nuevas ontologías agregadas al nivel inferior y los conceptos pertenecientes a los otros niveles de la red propuesta.

El estándar ISO 10303 parte 49 define la estructura para especificar: relaciones entre los procesos, la efectividad de un proceso, las propiedades de un proceso, los recursos necesarios para el proceso, las propiedades del recurso, la representación del proceso, la representación del recurso, y la relación del proceso con los productos.

La Tabla 5 y la Figura 9 ilustran la definición de algunos términos más importantes pertenecientes a ISO 10303-49 y sus relaciones. Los términos listados en dicha tabla no son todos los términos definidos por la norma, pero son los empleados en esta sección para mostrar la interacción de las ontologías integradas.

La Tabla 6, muestra un extracto de tres reglas que han sido definidas para alcanzar la interoperabilidad entre el módulo del estándar ISO 10303-49, formalizado en una ontología OWL, que ha sido incorporada previamente en el último nivel de la red, con las otras ontologías de la red propuesta. Estas reglas describen cómo los individuos del módulo pueden ser inferidos, con la ayuda de un razonador, como individuos de los conceptos de los diferentes niveles de la red de ontologías.

La regla cuyo nombre es R_Process específica que si X es un individuo en la población del concepto *product_definition_process*, entonces, X es un individuo de la entidad *Process* en el nivel principal. La regla R_Resource detalla que si X es un *action_resource_requirement* y está relacionado con Y, a través de la propiedad *operation*,

Tabla 5. Términos y definiciones ISO 10303-49

Términos ISO 10303-49	ISO	Definiciones
Action_resource_requirement	resour-	Define los recursos requeridos para un proceso.
Product_definition_process		Representa la definición de un producto, un producto o un aspecto de este.
Process_product_association	pro-	Especifica un proceso que lleva a cabo una característica específica de un producto.
Characterized_product_definition		Define las características de un proceso.

entonces, X es un *Process.Material*, término presente en el nivel de refinamiento. Dado que el concepto *Process.Material* es una especialización de la clase *Resource* (Fig. 6), X es también instancia de dicha clase. Asimismo, el individuo Y del tipo *characterized.action.definition* es definido como instancia de tipo *Process.Activity*. Estas instancias definen actividades atómicas que hacen uso de los recursos en un proceso. Finalmente, la regla R.Process.Activity puntualiza que si X es un *process.product.association* y está relacionado con un individuo Y de la entidad *product.definition.process* por la propiedad *process.product.association.process*, entonces, X es un *Process.Activity* e Y es el equivalente a *Process* relacionados, a través de la propiedad *composedby* en la red de ontologías.

Por otra parte, IDEF3 es un lenguaje de modelado de procesos de negocios, captura de restricciones, requerimientos de cada acción involucrada en el sistema incluyendo su temporalidad.

El término, unidad de comportamiento (UOB), en IDEF3, hace referencia al bloque que representa una actividad. Múltiples bloques de actividades se relacionan entre sí mediante los enlaces temporales (TemporalLink) con asociaciones que pueden especificarse para determinar si una

actividad es predecesora o sucesora a una anexada con esta última.

Para representar la divergencia o convergencia de los procesos, se utilizan las uniones o cruces. Estas pueden ser de ejecución en paralelo (AndJunction) o alternativo (OrJunction o XORJunction). Así también, las ramificaciones de los caminos de ejecución pueden ser asincrónicas o sincrónicas. Los UOB pueden interactuar con objetos que pueden ser entradas (InputObject) o salidas (OutputObject) de los nodos de procesos.

Como bien se ha presentado en la sección anterior, la red de ontología para poder incorporar nuevas adaptaciones funcionales necesita de una transformación del modelo a una ontología codificada en OWL y de un conjunto de reglas definidas en SWRL.

En la Tabla 7 se muestran las entidades que están involucradas en el caso de estudio por parte del sistema basado en IDEF3 y las entidades de la red de ontologías que serán empleadas en la conformación de las reglas para la alineación.

Una vez obtenida la adaptación del modelo IDEF3, se importa la ontología a la red y se procede a generar las reglas SWRL empleadas para lograr el alineamiento entre los términos de la ontología que formaliza IDEF3 y los conceptos ya definidos en la red. La Tabla 8, ilustra algunas de estas reglas.

La regla R.UOB, señala que, si existe un individuo X que es instancia de *UOB* entonces, X es instancia de *Process.Activity*. Se observa también en la mencionada tabla las reglas R.Input y R.Output para los objetos de entrada y salida, respectivamente, de las UOB de IDEF3. R.Input especifica que, si X es un individuo de la entidad *Input.Object* e Y es un *UOB* asociados por la propiedad *IDEF3.to*, entonces, X es un *Process.Material* que se encuentra relacionado con la propiedad *usedBy* con un individuo de la entidad *Process.Activity*. Por último, la regla R.Output especifica que, si X es un *Output.Object* e Y un *UOB*, estos dos términos se asocian por la propiedad *IDEF3.from*, entonces, X es un individuo del término *Product.Material* relacionado con un individuo Y que es un *Process.Activity*, por la propiedad *generatedBy*.

Tabla 6. Reglas de mapeo entre ISO 10303-49 y la red de ontologías

Nombre	Regla
R.Process	<pre> characterized_action_ definition(?x) ^ action_schema_ action(?x) ^ product_definition_ process(?x) -> Process(?x) </pre>
R.Resource	<pre> characterized_action_ definition(?y) ^ operation(?x, ?y) ^ action_schema_ action(?y) ^ action_resource_ requirement(?x) product_definition_ process(?y) -> ^ usedBy(?x, ?y) ^ Process(?y) ^ Process_Material(?x) </pre>
R.Process_ Activity	<pre> characterized_action_ definition(?y) ^ action_schema_ action(?y) ^ product_definition_ process(?y) ^ process_product_ association_ process(?x, ?y) -> Process_Activity(?x) ^ Process(?y) ^ composedBy(?x, ?y) </pre>

El ejemplo elegido para este caso es el proceso de agregado de ingredientes para la producción de pasta dental en gel.

Tabla 7. Términos involucrados en el caso de estudio

IDEF3	Refinement Level
UOB	Process_Activity
TemporalLink	N/A
InputObject	Resource - Process_Material
OutputObject	Product - Product_Material
AndJunctionSynchronous	N/A

Como se observa en la figura 10, el mismo es representado utilizando los conceptos de IDEF3 y, como se verá más adelante en esta sección, será consultado mediante los conceptos de ISO 10303-49. Este proceso consta de 4 operaciones: *Add Water*, *Add Fillers*, *Add Stabilizers* y *Add Sodium Fluoride*. Estas operaciones son representadas por UOBs en IDEF3. *Add Fillers* y *Add Stabilizers* son operaciones que se realizan en paralelo caracterizadas por el uso del conector *And*. Por último, las operaciones se unen mediante un conector *And* y termina con la última unidad llamada *Add Sodium Fluoride*, la cual entrega un objeto salida para la siguiente etapa, llamado *Mixture* al proceso *React* del plan de proceso de fabricación de la pasta dental.

La Figura 11 muestra diferentes vistas capturadas del editor Protégé. En particular, se observan: la vista de instancias correspondiente a la entidad *Input.Object* (parte izquierda de la figura); la vista de descripción de individuo (parte superior derecha); y la vista de aserción de propiedades de objetos. En estas dos últimas vistas, se puede visualizar en fuente negrita los tipos definidos de manera explícita. En tanto, los tipos que son inferidos, cuando se activa un razonador, en fuente normal con un sombreado color amarillo.

Las tres vistas que se presentan corresponden a la definición del individuo *Filler*, el cual ha sido definido explícitamente como un *Input.Object* e inferido como un individuo del tipo *action_resource_requirement* y *Process_Material*, estos dos últimos términos mencionados son conceptos definidos en el estándar 10303-49 y la red propuesta, respectivamente. Asimismo,

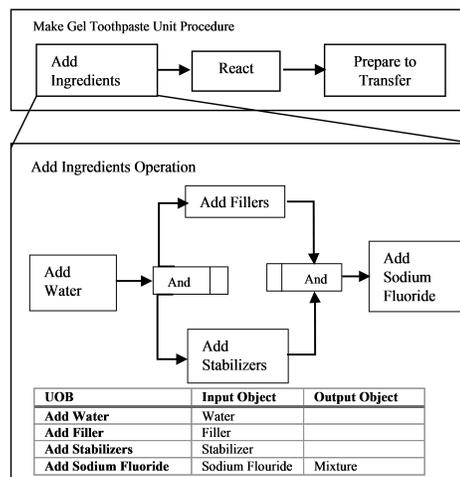
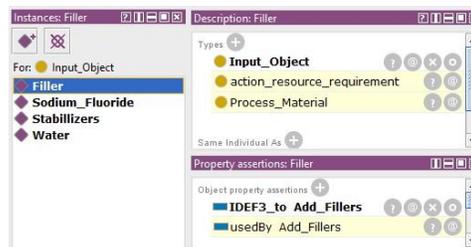
Tabla 8. Reglas SWRL para alineamiento entre IDEF3 y la red de ontologías

Nombre	Regla
UOB	$UOB(?x) \rightarrow Process_Activity(?x)$
TemporalLink	$Input_Object(?x) \wedge$ $IDEF3_to(?x, ?y) \wedge$ $UOB(?y) \rightarrow$ $usedBy(?x, ?y) \wedge$ $Process_Material(?x) \wedge$ $Process_Activity(?y)$
InputObject	$UOB(?y) \wedge$ $IDEF3_from(?x, ?y) \wedge$ $Output_Object(?x) \rightarrow$ $generatedBy(?x, ?y) \wedge$ $Product_Material(?x) \wedge$ $Process_Activity(?y)$

se observa que la propiedad de objeto *usedBy* que asocia *Filler* con la instancia *Add_Fillers* es inferida. La figura mencionada muestra como individuos definidos en IDEF3, pueden ser tratados como conceptos del estándar ISO 10303-49 y de la red de ontologías.

Para inferir nuevos conocimientos y hacer uso de la red de ontologías y sus individuos, es posible generar distintas preguntas. Dichas preguntas pueden ser representadas mediante lenguajes de consulta. Es posible utilizar el lenguaje SPARQL sobre un SPARQL endpoint o utilizar el lenguaje Description Logic en la pestaña DL en Protégé. El uso de este mecanismo sobre la red de ontologías demuestra su usabilidad.

Como ejemplo considere las Figuras 12 y 13. La Figura 12, presenta una consulta ingresada en la pestaña DL de Protégé que retorna las instancias del término *Resource*.

**Fig. 10.** Ejemplo del subproceso “Add Ingredients Operation” del proceso principal “Make Gel Toothpaste.” en IDEF3**Fig. 11.** Individuos del Caso de Estudio en Protégé

En esta figura es posible ver como el individuo *Filler*, que ha sido definido explícitamente como instancia de *Input_Object* (Figura 11) es inferido como una instancia de *Resource* (término del nivel principal de la red de ontologías).

En tanto, la Figura 13 presenta los individuos obtenidos como resultado de una consulta SPARQL que corresponde a la formalización de la pregunta de competencia: “¿Qué recursos necesita el proceso ‘Add.Ingredient’?”. Es posible ver en dicha figura una lista de individuos del tipo *Resource*, necesarios para el proceso denominado *Add.Ingredient*.

En esta última sección hemos presentado la incorporación a la red propuesta de dos modelos de datos de productos, permitiendo que ambos

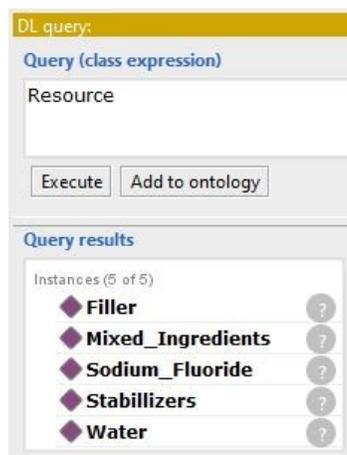


Fig. 12. Individuos representantes del término "Resource," a través de una consulta DL

modelos interoperen. Los dos modelos en cuestión son, uno basado en el estándar ISO 10303-49 del comité técnico 184 subcomité y el otro del lenguaje de modelado IDEF3 y es posible observar que la interoperabilidad es alcanzada por medio de la red de ontologías pudiendo ésta inferir las clases a las cuales las instancias pertenecen y permitiendo dar respuesta a las preguntas de competencia planteadas en la tabla 4. La respuesta a una de estas preguntas para el caso de estudio propuesto se muestra en la figura 13.

5. Conclusión

Este trabajo presenta una red de ontologías multinivel, como solución al problema de interoperabilidad de sistemas heterogéneos que implementan los estándares del comité 184 subcomité 4 de la Organización Internacional de Estándares.

La ventaja principal de esta red, además de permitir interoperar con modelos implementados del mencionado comité de la ISO puede ser extendida y usada para otros estándares y modelos de información. Esto se logra agregando la formalización del modelo requerido y las reglas necesarias para el alineamiento de las ontologías participantes. Pudiendo servir esta red de ontologías como mediador entre sistemas

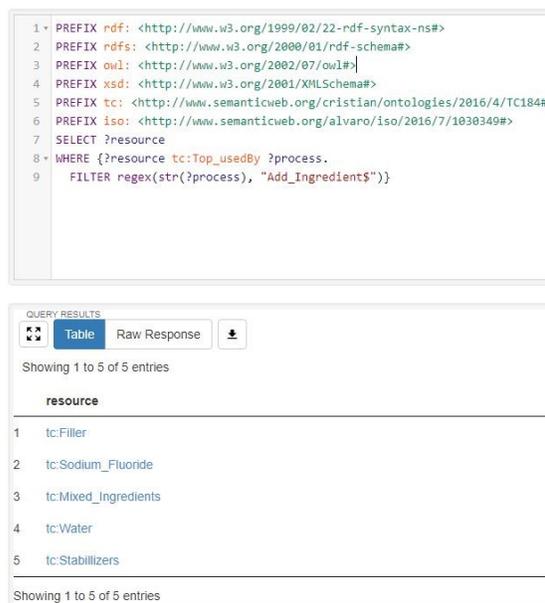


Fig. 13. Resultado de la ejecución de pregunta de competencia "¿Qué recursos necesita el proceso 'Add_Ingredient'?"

heterogéneos. Por esta razón los sistemas informáticos que se encuentren en cada industria no necesitarán efectuar cambios en su estructura. Solo se requeriría la formalización de los modelos de datos utilizando OWL y la definición de las correspondientes reglas de inferencia con términos de la red.

Se mostró la división de la estructura de la red. El nivel principal posee cuatro términos que representan los conceptos considerados por varios autores como más importantes en el dominio. El nivel de refinamiento detalla la conceptualización de los términos del nivel principal haciendo uso de términos presentes en diversos estándares involucrados en este proyecto. El nivel de refinamiento, a través de reglas y un motor de inferencia alcanza un alineamiento con el nivel de estándares. El nivel de estándares posee las adaptaciones de los estándares, modelos o vocabularios para su uso en la red y lograr la interoperabilidad semántica entre los mismos.

Por último, se describió un caso de estudio, en el que se presenta un ejemplo usando dos

adaptaciones de estándares, la primera perteneciente al estándar IDEF3 y la segunda al ISO 10303-49 publicada por el ISO TC184/SC4. En el caso de estudio se puntualiza la versatilidad de la propuesta pudiendo alcanzar la interoperabilidad semántica entre los dos modelos mencionados.

Esta red muestra ser de gran utilidad no tan solo para los sistemas industriales especializados a los que les ofrece la posibilidad de adaptar los modelos de información al estándar que requieran para la representación de información, sino que también puede proveer información no específica para sistemas y áreas que necesiten solo un panorama general o un modelo de datos reducido con la información de las capas superiores de la red.

Los próximos pasos serán continuar con la implementación de módulos y estándares, validar la propuesta mediante su aplicación a múltiples casos. Por otra parte, se procederá a la definición de una aplicación que, basada en la red de ontologías propuesta, permita la interoperabilidad de sistemas de PLM en un entorno real.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo brindado por las siguientes instituciones: CONICET y Universidad Tecnológica Nacional (UTI3810TC y UTI3803TC).

Referencias

1. **Bezerra, C., Freitas, F., & Santana, F. (2013).** Evaluating ontologies with Competency Questions. *Proceedings - 2013 IEEE/WIC/ACM International Joint Conference on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology - Workshops, WI-IATW 2013*.
2. **Bruno, G., Korf, R., Lentjes, J., & Zimmermann, N. (2016).** Efficient management of product lifecycle information through a semantic platform. *Int. J. Product Lifecycle Management*, Vol. 9, No. 1, pp. 45–64.
3. **Chen, D. (2015).** Enterprise Interoperability. *Lecture Notes in Business Information Processing*, Vol. 213, No. MARCH, pp. 118–131.
4. **Chungoora, N., Young, R. I. M., Gunendran, G., Palmer, C., Usman, Z., Anjum, N. A., Cutting-Decelle, A. F., Harding, J. A., & Case, K. (2013).** A model-driven ontology approach for manufacturing system interoperability and knowledge sharing. *Computers in Industry*, Vol. 64, No. 4, pp. 392–401.
5. **Colchado, G. & Melgar, A. (2018).** Competitive Intelligence Using Domain Ontologies on Facebook of Telecommunications Companies of Peru. **Rocha, A. & Guarda, T.**, editors, *Proceedings of the International Conference on Information Technology and Systems (ICITS 2018)*, Springer International Publishing, Cham, pp. 777–787.
6. **Curi de Moura Leite, A. F., Canciglieri, M. B., Szejka, A. L., & Canciglieri Junior, O. (2017).** The reference view for semantic interoperability in Integrated Product Development Process: The conceptual structure for injecting thin walled plastic products. *Journal of Industrial Information Integration*, Vol. 7, pp. 13–23.
7. **Cutting-Decelle, A. F., Young, R. I. M., Michel, J. J., Grangel, R., Le Cardinal, J., & Bourey, J. P. (2007).** ISO 15531 MANDATE: A Product-process-resource based Approach for Managing Modularity in Production Management. *Concurrent Engineering*, Vol. 15, No. 2, pp. 217–235.
8. **Fortineau, V., Paviot, T., & Lamouri, S. (2013).** Improving the interoperability of industrial information systems with description logic-based models-The state of the art. *Computers in Industry*, Vol. 64, No. 4, pp. 363–375.
9. **Fraga, A. L. & Leone, H. P. (2016).** Una Arquitectura de Niveles Basada en Ontologías para Lograr la Interoperabilidad entre Estándares. *45º Jornadas Argentinas de Informática*, 3000.
10. **Fraga, A. L., Vegetti, M., & Leone, H. (2017).** Semi-Automated Ontology Generation Process from Industrial Product Data Standards. *46º Jornadas Argentinas de Informática*.
11. **Giménez, D., Vegetti, M., Henning, G., & Leone, H. (2006).** PProduct ONTOlogy. Defining product-related concepts for production planning activities. *Computer Aided Chemical Engineering*, Vol. 21, No. C, pp. 2219–2224.
12. **Gómez-Pérez, A., Fernández-López, M., & Corcho, O. (2007).** *Ontological Engineering: With Examples from the Areas of Knowledge Management, E-Commerce and the Semantic Web*. Springer, 2nd edition edition.

13. **Gulla, J. A., Tomassen, S. L., & Strasunskas, D. (2006).** Semantic Interoperability in the Norwegian Petroleum Industry. *Proceedings of the 5th International Conference on Information Systems Technology and its Applications (ISTA 2006)*, Vol. 7491, pp. 81–94.
14. **Irisarri, E., Garcia, M. V., Perez, F., Estevez, E., & Marcos, M. (2016).** A model-based approach for process monitoring in oil production industry. *IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA*.
15. **ISO (1994).** ISO 10303-1:1994 - Industrial automation systems and integration – Product data representation and exchange – Part 1: Overview and fundamental principles.
16. **ISO (1998).** ISO 10303-49:1998 - Industrial automation systems and integration – Product data representation and exchange – Part 49: Integrated generic resources: Process structure and properties.
17. **ISO (2004).** ISO 18629-1:2004 - Industrial automation systems and integration – Process specification language – Part 1: Overview and basic principles.
18. **ISO (2007).** ISO 15531 MANDATE: Industrial manufacturing management data.
19. **Isotani, S., Bittencourt, I. I., Barbosa, E. F., Dermeval, D., & Paiva, R. O. A. (2015).** Ontology Driven Software Engineering: A Review of Challenges and Opportunities. *IEEE Latin America Transactions*, Vol. 13, No. 3, pp. 863–869.
20. **Koivunen, M.-R. & Miller, E. (2001).** W3c semantic web activity. *Semantic Web Kick-Off in Finland*, pp. 27–44.
21. **Lin, H. K. & Harding, J. A. (2007).** A manufacturing system engineering ontology model on the semantic web for inter-enterprise collaboration. *Computers in Industry*, Vol. 58, No. 5, pp. 428–437.
22. **Marquardt, W., Morbach, J., Wiesner, A., & A.Yang (2010).** *OntoCAPE - A Re-Usable Ontology for Chemical Process*.
23. **McGuinness, D. L., Van Harmelen, F., & others (2004).** OWL web ontology language overview. *W3C recommendation*, Vol. 10, No. 10, pp. 2004.
24. **Panetto, H., Dassiti, M., & Tursi, A. (2012).** ONTO-PDM: product-driven ONTOlogy for Product Data Management interoperability within manufacturing process environment. *Advanced Engineering Informatics*, Vol. 26, No. 2, pp. 334–348.
25. **Paviot, T., Cheutet, V., & Lamouri, S. (2011).** A PLCS framework for PDM/ERP interoperability framework. *International Journal of Product Lifecycle Management*, Vol. 5, No. 2-3-4, pp. 295–313.
26. **Paviot, T., Lamouri, S., & Cheutet, V. (2011).** A generic multiCAD / multiPDM interoperability framework. *International Journal of Services Operations and Informatics*, Vol. 6, No. 1/2, pp. 124–137.
27. **Pham, C. C., Durupt, A., Nada, M., Eynard, B., & Ducellier, G. (2015).** Knowledge Sharing Using Product Life Cycle Management. **Umeda, S., Nakano, M., Mizuyama, H., Hibino, N., Kiritsis, D., & von Cieminski, G., editors, *Advances in Production Management Systems: Innovative Production Management Towards Sustainable Growth*, Springer International Publishing, Cham, pp. 376–382.**
28. **Poveda-Villalón, M., Suárez-Figueroa, M. C., Ángel García-Delgado, M., & Gómez-Pérez, A. (2014).** OOPS! (Ontology Pitfall Scanner!): supporting ontology evaluation on-line. *International Journal on Semantic Web & Information Systems*, Vol. 10, No. 2, pp. 7 – 34.
29. **Ray, S. R. & Jones, a. T. (2006).** Manufacturing interoperability. *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 17, No. 6, pp. 681–688.
30. **Silega, N., Loureiro, T., & Noguera, M. (2014).** Model-driven and ontology-based framework for semantic description and validation of business processes. *IEEE Latin America Transactions*, Vol. 12, No. 2, pp. 292–299.
31. **Sonzini, M. S. & Leone, H. P. (2016).** Una Arquitectura basada en la Web Semantica para la Gestion de Versiones de Familias de Producto. *Il Simposio Argentino de Ontologias y sus Aplicaciones (SAOA 2016). JAIIO 45 (Tres de Febrero, 2016)*, Ciudad Autonoma de Buenos Aires.
32. **Terzi, S., Bouras, A., Dutta, D., Garetti, M., & Kiritsis, D. (2010).** Product lifecycle management - from its history to its new role. *International Journal of Product Lifecycle Management*, Vol. 4, No. 4, pp. 360–389.
33. **Tursi, A., Panetto, H., Morel, G., & Dassisti, M. (2009).** Ontological Approach for Products-Centric Information System Interoperability in Networked Manufacturing Enterprises. *Annual Reviews in Control*, Vol. 33, pp. 238–245.
34. **Usman, Z., Young, R. I. M., Chungoora, N., Palmer, C., Case, K., & Harding, J. A. (2013).**

Towards a formal manufacturing reference ontology. *International Journal of Production Research*, Vol. 51, No. 22, pp. 6553–6572.

35. **Vegetti, M., Henning, G. P., & Leone, H. P. (2005).** Product ontology: definition of an ontology for the complex product modelling domain. *2nd Mercosur Congress on Chemical Engineering 4th Mercosur Congress on Process Systems Engineering*, September 2015, pp. 1–10.
36. **Wiesner, A., Morbach, J., & Marquardt, W. (2011).** Information integration in chemical process engineering based on semantic technologies. *Computers & Chemical Engineering*, Vol. 35, No. 4, pp. 692–708.
37. **Yang, D., Miao, R., Wu, H., & Zhou, Y. (2009).** Product configuration knowledge modeling using

ontology web language. *Expert Systems with Applications*, Vol. 36, No. 3 PART 1, pp. 4399–4411.

38. **Young, R. I. M., Gunendran, A. G., Cutting-Decelle, A. F., & Gruninger, M. (2007).** Manufacturing knowledge sharing in PLM: a progression towards the use of heavy weight ontologies. *International Journal of Production Research*, Vol. 45, No. 7, pp. 1505–1519.
39. **Zhao, J., Cheung, W. M., & Young, R. I. M. (1999).** A consistent manufacturing data model to support virtual enterprises. *International Journal of Agile Management Systems*, Vol. 1, No. 3, pp. 150–158.

Article received on 27/03/2019; accepted on 14/04/2020.
Corresponding author is Alvaro Fraga.