

Una Arquitectura de Niveles Basada en Ontologías para Lograr la Interoperabilidad entre Estándares

Alvaro L. Fraga, Horacio P. Leone

INGAR, Instituto de Desarrollo y Diseño (3000), Avellaneda 3657, Santa Fe, República Argentina.

{alvarofraga, hleone}@santafe-conicet.gov.ar

Resumen. – Las organizaciones e industrias de manufactura, en la actualidad avanzan hacia una estructura dispersa a lo largo y ancho del mundo, uniendo y formando alianzas con otras que tal vez posean distintas conceptualizaciones de términos generales y necesarios para la producción. Estas conceptualizaciones diferentes llevan a potenciales problemas de interoperabilidad entre distintas empresas. El comité ISO TC 184/SC4 ha hecho un gran esfuerzo para lograr una interoperabilidad entre los sistemas, pero al día de hoy encontramos que los distintos estándares involucrados poseen conceptualizaciones diferentes para los principales términos. Por este motivo la integración semántica se ha convertido en un tema importante en el área, donde las ontologías dan la posibilidad de lograrlo. En este trabajo se presenta un primer acercamiento detallando dos de los tres niveles de una arquitectura de ontologías, cada una más refinada y detallada acorde al nivel, que involucra los principales conceptos del ciclo de vida del producto, extraídos de un conjunto de estándares del comité ISO TC 184/SC4 con el propósito de alcanzar la integración semántica.

Palabras Claves: Ontologías de alto nivel, Estándares Internacionales, Ciclo de vida de Producto.

1 Introducción

Las organizaciones y las industrias de manufactura cada día necesitan integrar más sus procesos productivos y de gestión con otras empresas para seguir siendo competitivas. Este aspecto ha llevado a que las mismas estén dispersas globalmente, lo que provoca que sea necesario que los Sistemas de Información sean capaces de soportar la naturaleza global de sus negocios. El rango de información que debe compartir el sistema, no solo debe ser precisa y estar disponible en el entorno funcional del sistema, sino que también es necesaria desde otras áreas que manejan diferentes perspectivas. El intercambio de información entre sistemas heterogéneos es crítico en este aspecto, para lograr integración, mejor entendimiento y lograr el trabajo colaborativo. Sin embargo, las organizaciones reconocen que están muy lejos de lograr dicha integración [1]. Para afrontar este desafío de intercambio de información, el concepto de “interoperabilidad” entra en escena, como la habilidad de intercambiar información,

datos de negocios o técnicos y conocimiento, a través de los diferentes sistemas de información que estén involucrados en un entorno, en lo posible, libre de errores con la mínima intervención manual [2]. Para que los sistemas logren la interoperabilidad que se desea es de vital importancia conocer la semántica que hay detrás de los términos que manejan cada uno de los dominios involucrados.

El término “interoperabilidad” viene originalmente de la Ingeniería de Software, en este contexto, significa que dos sistemas de software pueden cooperar fácilmente sin esfuerzo o intervención adicional de ninguna interfaz, pero no solo es concerniente a esta área, sino que está implicado entre dos entidades en un ambiente de trabajo homogéneo o heterogéneo.

The Open Group Architecture Framework (TOGAF) [3] ha definido el término interoperabilidad como:

- 1- La habilidad de dos o más componentes de intercambiar y compartir información,
- 2- La habilidad de los sistemas de proveer y recibir servicios de otros sistemas y usar los mismos para que puedan funcionar juntos de manera efectiva.

Hay tres aspectos que se pueden considerar en la interoperabilidad [4]:

- Técnico,
- Semántico,
- Organizacional.

En las organizaciones de manufactura, los estándares que han tenido bastante aceptación para facilitar la interoperabilidad entre los distintos sistemas son aquellos que se centran en el intercambio de datos relacionados con la geometría de productos, un área donde el significado de la terminología es compartido y claramente entendido por los expertos involucrados. Sin embargo, en áreas donde la terminología está menos rigurosamente definida, los estándares empiezan a hacer frente a problemas de tipo semántico [5][6]. En diferentes estándares el mismo término es utilizado para nombrar cosas distintas o diferentes términos son usados para referirse a un mismo concepto. Esta situación conduce a problemas potencialmente importantes de interoperabilidad [7]. Tal vez uno de los mayores esfuerzos para proveer modelos comunes como base para el intercambio de datos se ven reflejados en el trabajo realizado por el comité TC 184/SC4 de la ISO [7].

La organización del comité ISO TC 184/SC4 tiene como meta lograr estándares que logren implementarse en industrias que manejan modelos de productos informatizados a lo largo del ciclo de vida del producto. El alcance de los estándares del comité TC184/SC4 incluyen todos los datos industriales relacionados al producto: calidad, planes de eliminación, proceso de diseño, materiales, funciones, procesos, producción, y datos sobre el ciclo de vida.

Los estándares generados por el comité son numerosos y aplicables a los sistemas de gestión de producción de diferentes niveles. Si bien proveen una amplia cobertura del dominio del producto, se observan, al analizarlos en forma conjunta, algunos problemas semánticos entre los que se destaca la falta de compatibilidad entre los modelos de información y el vocabulario utilizado por cada uno [6]. Un aspecto importante de los estándares existentes es la falta de formalización en los conceptos que definen, lo cual permite que dos actores diferentes interpreten el mismo estándar de dos mane-

ras distintas. Asimismo, las definiciones de términos en los diferentes estándares no son consistentes entre sí. Un ejemplo muy evidente que se presenta al emplear un grupo de estándares propuestos por ISO TC 184/SC4, es que los términos proceso, producto y recurso, son definidos en forma diferente en los mismos, lo cual es particularmente destacable a partir de la importancia de estos conceptos en los sistemas de manufactura.

El presente trabajo propone una arquitectura de tres niveles para lograr interoperabilidad articulando el significado de los distintos conceptos en un conjunto de estándares del comité ISO TC 184/SC4. Este trabajo se enfoca en los dos primeros niveles, detallando los conceptos principales, las relaciones entre sí, y los términos relacionados a cada uno ellos.

En la próxima sección se describirán los estándares involucrados en el análisis, así como sus secciones y las definiciones empleadas para la conformación del esquema conceptual. En la sección 3 se describirá la ontología de alto nivel que obtuvimos a partir del análisis de los estándares y los esquemas refinados que se sintetizaron tomando como eje a cada término proveniente de la ontología de alto nivel. Finalmente en la sección 4 se presentan las conclusiones y trabajos que se realizarán en el futuro.

2 Definición de Términos en el Marco del ISO TC184/SC4

Los estándares elaborados en el marco del comité TC184/SC4 de la ISO que se analizan en este trabajo son: ISO 10303 STEP (STandard for the Exchange of Product model data), ISO 13584 P-LIB (Biblioteca de Partes), ISO 15531 MANDATE (MANufacturing DATa Exchange), ISO 15926 e ISO 18629 PSL (Process Specification Language). El estándar ISO 15531 es una norma para el modelado de datos que se utiliza en la gestión de fabricación (dejando afuera los datos de productos y componentes, así como el catálogo de partes que se modelan usando ISO 10303 e ISO 13584). ISO1303 STEP abarca la representación para el intercambio de datos de productos en entornos de manufactura. Por su parte, el estándar ISO 15926 especifica un modelo de datos conceptual para la representación de plantas en industrias de proceso así como también modela los productos a lo largo del tiempo y mostrando diferentes vistas que son relevantes para las diferentes etapas del ciclo de vida del producto. Este estándar está muy focalizado en la industria del petróleo y gas [9], y quizás por este motivo, sumado a la extrema complejidad de su modelo de datos, no ha encontrado una amplia aceptación [8].

2.1 ISO TC184/SC4: Automation System and Integration – Industrial Data

El TC184/SC4 es un subcomité de la organización de estándares internacionales, ISO, que se dedica a desarrollar estándares que provean la capacidad de describir y manejar los datos de los productos industriales a través de todo el ciclo de vida del producto [10].

El subcomité abarca todo lo involucrado con la representación los datos industriales relacionados a los productos discretos incluyendo su diseño, tolerancias, material,

configuración, calidad, datos de producción, funcionalidad, y proceso de diseño. Esto también incluye datos organizacionales como las relaciones entre empresas o la relación entre componentes de una sola empresa con el propósito de identificar proveedores. Esto no incluye, y están especialmente excluidos, los datos de los planes de negocios como ser las proyecciones de ganancias, flujo de caja, etc., y cualquier dato personal u organizacionales.

La meta de este comité es la creación y mantenimiento de estándares que permitan la captura de información que comprende un modelo computarizado de productos en una forma neutral, sin pérdida de su completitud e integridad a lo largo del ciclo de vida del producto.

El trabajo de este comité es publicado en una serie de estándares que poseen múltiples partes que involucran seis áreas de tecnología de datos de productos industriales, esto incluye a los estándares mencionados al principio de la sección.

Los Estándares más conocidos dentro del ISO TC184/SC4 son:

ISO 10303 (STEP - Standard for Product data representation and exchange): Para la representación interpretable por computadora e intercambio de datos de productos con el objetivo de proveer un mecanismo para describirlos a lo largo de su ciclo de vida. El estándar permite diferentes métodos de implementación para guardar, acceder, transferir, y capturar los datos de producto.

ISO 13584 (PLIB - Parts Library): Tiene como objetivo desarrollar una biblioteca de representaciones interpretables por computadora de datos de partes de productos, para permitir un intercambio de la información entre el proveedor y los usuarios.

Provee mecanismos capaces de transferir datos de la biblioteca de partes, independiente de cualquier aplicación.

ISO 15531 (MANDATE - Industrial manufacturing management data): Incluye la representación de datos relacionados al manejo de los procesos de producción y el intercambio de los datos de administración dentro o entre compañías.

Los datos relacionados con la administración de manufactura se pueden clasificar en tres categorías:

- Intercambio externo.
- Gestión de los recursos usados durante el proceso de manufactura.
- Gestión de la fabricación que se encuentra dentro de una planta y a través de las distintas etapas del proceso.

ISO 15926 (Process Plants including Oil and Gas facilities life-cycle data): Es un estándar para el modelado de datos e interoperabilidad usando tecnologías de Web Semántica. A su vez describe una ontología de alto nivel y una ontología de datos de referencia. Este estándar de intercambio de información e integración, originalmente fue hecho con el objetivo de ser implementado en las industrias de gas y petróleo, pero como se ha formulado de una manera muy genérica puede ser empleado en cualquier tipo de industria.

ISO 18629 (PSL- Process specification language): Define un lenguaje de especificación de procesos que explicita y estructura los conceptos relacionados a la captura e intercambio de datos del proceso de manufactura discreta.

ISO 18876 (IIDEAS - Integration of industrial data for exchange, access, and sharing): Define lo necesario para la integración de datos industriales, su intercambio y su uso compartido, esto involucra arquitectura, metodología, y otras especificaciones adicionales.

2.2 Términos Involucrados

En este trabajo se aborda el aspecto semántico de los estándares del comité TC184/SC4 mencionados, para lo que se han tomado inicialmente cuatro términos que enmarcan la mayor cantidad de términos comunes. Abordar esta problemática ha sido reconocido como un gran desafío [11].

Según el grupo de expertos de INTEROP [12], las tres áreas de investigación que deben abordarse para lograr resultados en este tópico son las siguientes:

- 1- Modelado Empresarial
- 2- Arquitectura y Plataforma
- 3- Ontologías

La semántica puede ser definida como la asociación de un significado con un término en un contexto dado [13].

La interoperabilidad semántica en las empresas es la habilidad de permitir que aplicaciones empresariales multidisciplinaria entiendan y utilicen la semántica de los sistemas y los significados de los modelos de datos, y lograr un acuerdo entre conceptos en común estableciendo una compatibilidad semántica en la compartición e intercambio de información en un entorno determinado.

Las ontologías son consideradas como potentes herramientas para abordar estos problemas, puesto que las mismas especifican la semántica de un sistema de terminologías sin ambigüedades mediante la representación explícita y formal del entendimiento compartido acerca de los conceptos del dominio y las relaciones entre los mismos [14].

En la Tabla 1, se describen los principales términos involucrados en el esquema conceptual de alto nivel propuesto en este trabajo, no se incluyeron en la misma todos los términos analizados en el trabajo en desarrollo por razones de espacio.

Table 1. Tabla de Términos y Definiciones

Términos	Definición
Product	Facts, concepts or instructions. ISO 13584-102 [15] <hr/> Thing or substance produced by a natural or artificial process. ISO/TS 8000-311[16], ISO/TS 15926-11[17], ISO 10303-1[18], ISO 15531-32[19], ISO 15531-43[20], ISO 18629-1[21], ISO 18629-11[22], ISO 18629-12[23], ISO 18629-41[24], ISO 18629-42[25], ISO 18629-

	43[26], ISO 13584-1[27], ISO 13584-24[28], ISO 13584-42[29]
Process	<p>Structured set of activities involving various enterprise entities, that is designed and organised for a given purpose. ISO 15531-1[30], ISO 15531-32[19], ISO 15531-43[20], ISO 15531-44[31], ISO 18629-1[21], ISO 18629-11[22], ISO 18629-12[23], ISO 18629-13[32], ISO 18629-14[33], ISO 18629-41[24], ISO 18629-42[25], ISO 18629-43[26], ISO 18629-44[34]</p> <p>A particular procedure for doing something involving one or more steps or operations. The process may produce a product, a property of a product, or an aspect of a product. ISO 10303-49[35]</p>
Resource	<p>Any device, tool and means, except raw material and final product components, at the disposal of the enterprise to produce goods or services. ISO 15531-1[30], ISO 15531-32[19], ISO 15531-43[20], ISO 18629-1[21], ISO 18629-41[24], ISO 18629-42[25]</p> <p>Any device, tool and means at the disposal of the enterprise to produce goods or services. ISO 18629-14[33], ISO 18629-43[26], ISO 18629-44[34], ISO 15531-44[31]</p> <p>Something that may be described in terms of a behavior, a capability, or a performance measure that is pertinent to the process. ISO 10303-49[35]</p> <p>Result of a process. ISO 10303-239[36]</p> <p>Recorded facts, concepts, or instructions about a product. ISO 10303-232[37]</p>
Enterprise (Entity)	<p>Any concrete or abstract thing in the universe of discourse of an enterprise. ISO 15531-1[30]</p> <p>One or more organizations with a set of goals and objectives to offer products and/or services. ISO 10303-239[36]</p>

En la Tabla 1 se pueden apreciar las principales definiciones que entran en conflicto, como por ejemplo: “Resource” (ISO 10303-232) y “Product” (ISO 13584-102), en donde el término “Resource” se define de la misma manera que el término “Product”, también se encuentra otro caso entre “Resource”, “Product” y “Process”, por lo que “Process” jamás se define como productor de recursos, sino como productor de productos, propiedades o aspectos del mismo, mientras que a “Resource” lo define como resultado de un proceso, y “Product”: cosa o substancia producida por un proceso natural o artificial.

Aparecen una gran cantidad de conflictos a medida que se avanza en los estándares y se van incorporando y analizando términos al trabajo. Nombrarlos a todos no es el propósito de este trabajo, pero otro ejemplo importante es: “Product Information”, los estándares ISO 18629-1 y ISO 10303-1 lo definen de igual manera que al término “Product” (ISO 13584-102) y que “Resource” (ISO 10303-232). Estos ejemplos dan más énfasis a la importancia de los términos, “Product” y “Resource”.

3 Definición del Esquema Conceptual

Para gestionar la integración semántica entre los diferentes estándares se propone una arquitectura conceptual de tres niveles como se muestra en la Figura 1. La arquitectura, en la capa superior, “Top Level Ontology”, incluye una ontología con los términos principales, y sus relaciones. Cada término involucrado en este nivel se vincula con el nivel medio, “Concept Middle Level”, donde es refinado en módulos, cada módulo define una ontología de dominio para el término correspondiente del nivel superior.

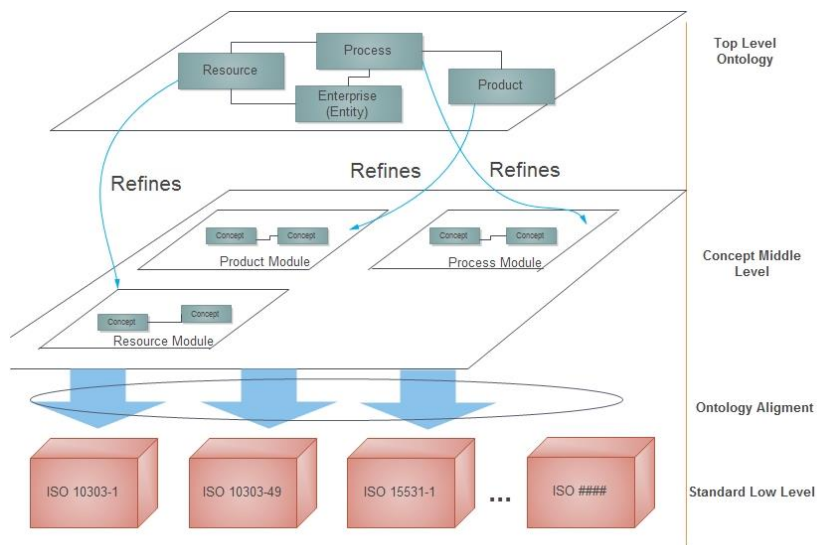


Fig. 1. Arquitectura de Tres Niveles

El nivel inferior, “Standard Low Level”, compuesto de los términos y definiciones de cada estándar, se comunica, a través de reglas con el nivel intermedio y los distintos módulos que posee cada ontología.

En la Figura 2, que se corresponde al esquema conceptual de la capa superior “Top Level Ontology”, se muestra la relación entre los términos “Product”, “Process”, “Resource” y “Enterprise (Entity)” y que estándares los definen. Para este esquema, el término “Product” se decidió relacionarlo a “Process” por la definición del estándar

presente en ISO 10303-49, que dice: “Un 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”. A su vez por la definición compartida que posee “Process” con los estándares ISO 15531 y ISO 18629, describiendo “Process” como un conjunto de actividades involucrando varias entidades empresariales que están organizadas con un propósito.

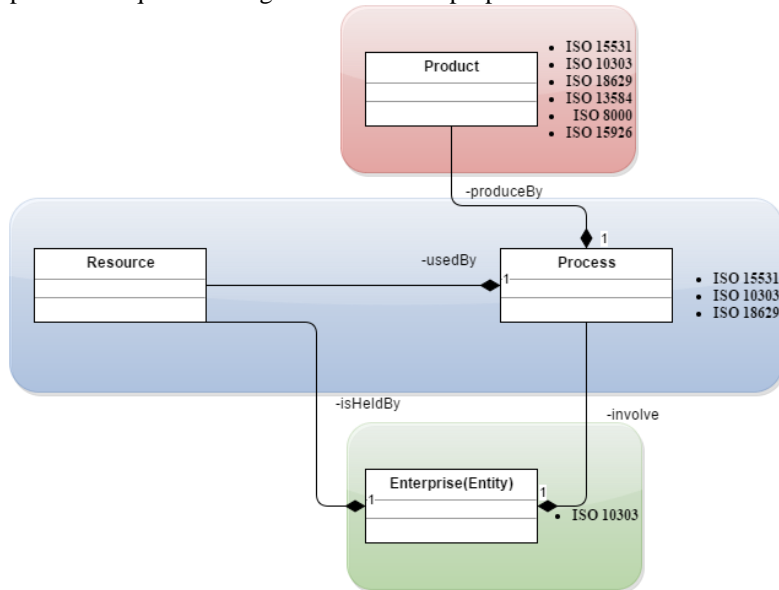


Fig. 2. Esquema Conceptual de la Capa Superior

Las Figuras 2, 3 y 4 ilustran los diagramas que corresponden a los módulos de la capa media de la arquitectura. El módulo del término “Process”, que se muestran en la Figura 2, incluye los términos “Natural Process”, “Artificial Process” que son los tipos de procesos que pueden producir un producto, extraído de la definición de “Product” presentes en partes de los estándares ISO 8000, ISO 10303, ISO 13584, ISO 15531, ISO 15926, ISO 18629. Un “Procedure” es la ejecución de un proceso de una manera específica. Una “Process Activity” es un paso u operación que forma parte de un “Process”. Una “Procedure Activity” es una ejecución específica de un “Process Activity”. “Process Material” es el material requerido para ejecutar una actividad del proceso. Un “Process Plan” es el conjunto de procesos necesarios para realizar un producto. El “Process Plant” es el lugar concreto donde se ejecuta el “Process Plan”.

En la Figura 3 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”. Se ha decidido tomar como una propiedad de producto a la información del mismo que puede ser un hecho, un concepto, o instrucción vinculada a este. Por lo cual el término “Product” está vinculado con “Product Information” mediante la relación “definedBy”. También en el esquema aparecen los términos “Substance” y “Thing” como subsunción del término “Product”

para considerar las definiciones presentes en los estándares ISO 8000, ISO 10303, ISO 13584, ISO 15531, ISO 15926 y ISO 18629, donde describen que “Product” es una cosa o sustancia producida por un proceso natural o artificial.

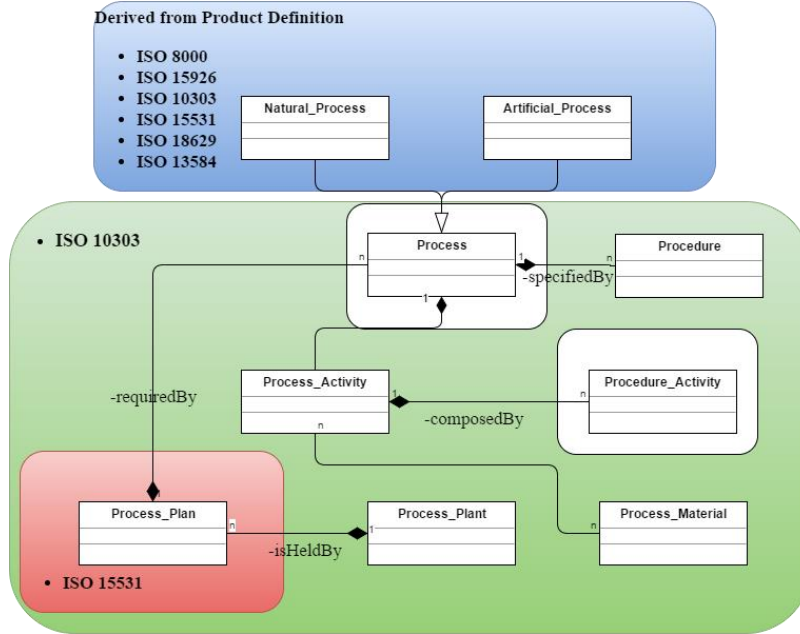


Fig. 3. Esquema Conceptual del Término "Process"

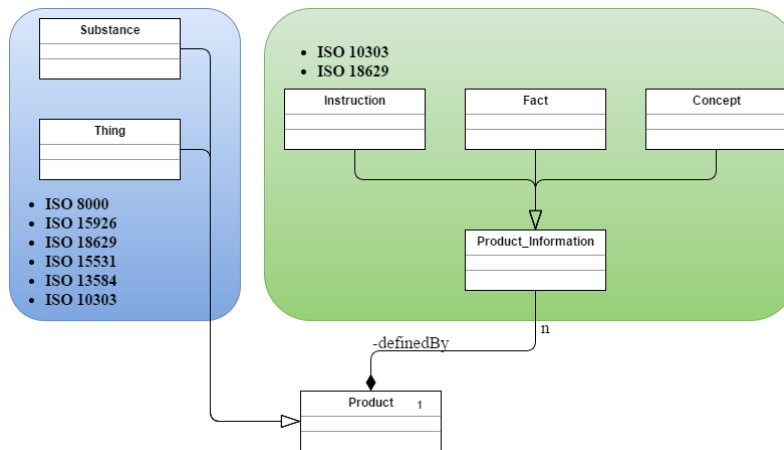


Fig. 4. Esquema Conceptual del Término "Product"

El módulo del término “Resource” se introduce en la Figura 4. Según ISO 10303-49, un "Resource" está definido por sus comportamientos y capacidades, por lo que se

representa la composición con los términos “Behaviour” y “Capability”. Asimismo, forman parte del esquema los términos “Tool”, “Equip”, y “Device”, que los estándares ISO 15531 y ISO 18629 describen como recursos. Estos mismos estándares no reconocen, ni consideran al término “Raw Material” como un tipo de recurso. Otros estándares agregan más términos a esta relación de subsunción como “Proces Material” y “Product Material”, siendo el primero, el material usado o transportado por una actividad de proceso, ISO 10303-227. El segundo término, se refiere al objeto físico que fue fabricado según una especificación y del cual se puede fabricar otro producto, ISO 10303-235. Esto da la noción de la existencia o la relación con el término “Material” y que del mismo se desprende una relación de subsunción con los términos “Product Material”, “Process Material” y “Raw Material”.

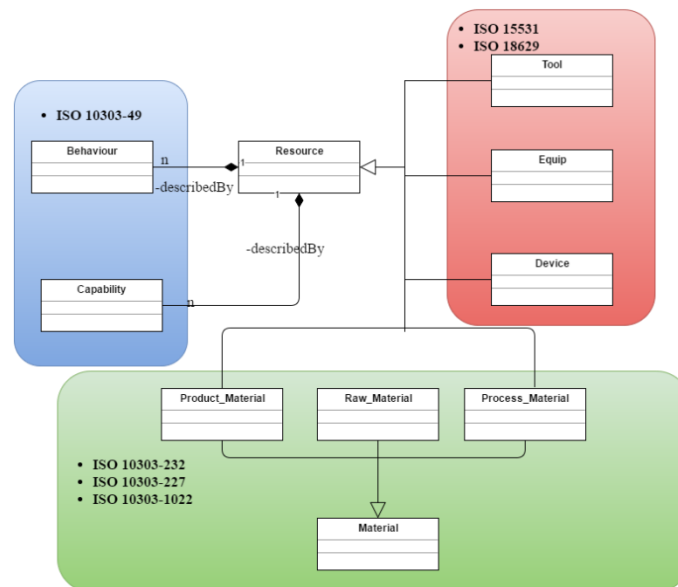


Fig. 5. Esquema Conceptual del Término "Resource"

Una primera implementación de las ontologías propuestas se ha realizado en OWL (Ontology Web Language) utilizando el editor Prótegé 5.0.0 build beta-23. La Figura 6 muestra cómo las diferentes ontologías de nivel medio (ProductMod.owl, ProcessMod.owl y ResourceMod.owl) importan los conceptos que se encuentran en la ontología de alto nivel (CoreConcepts.owl). Asimismo, se observa una vista parcial de las taxonomías de conceptos y las propiedades definidas para cada una de las ontologías propuestas en el editor de ontologías mencionado. La ontología CoreConcepts.owl especifica los conceptos y relaciones presentados en la Figura 2. En tanto las ontologías ProcessMod.owl, ProductMod.owl y ResourcesMod.owl, definen los conceptos y relaciones que han sido introducidos en las figuras 3, 4 y 5, respectivamente.

Los diferentes módulos de la arquitectura propuesta, los cuales se implementan en OWL (Ontology Web Language), se vinculan mediante relaciones tanto verticales como horizontales. En el primer caso, relaciones binarias vinculan términos pertenecientes a módulos de diversas capas de la arquitectura. En el otro caso, un conjunto de reglas definirán las asociaciones entre conceptos definidos en distintos módulos de una misma.

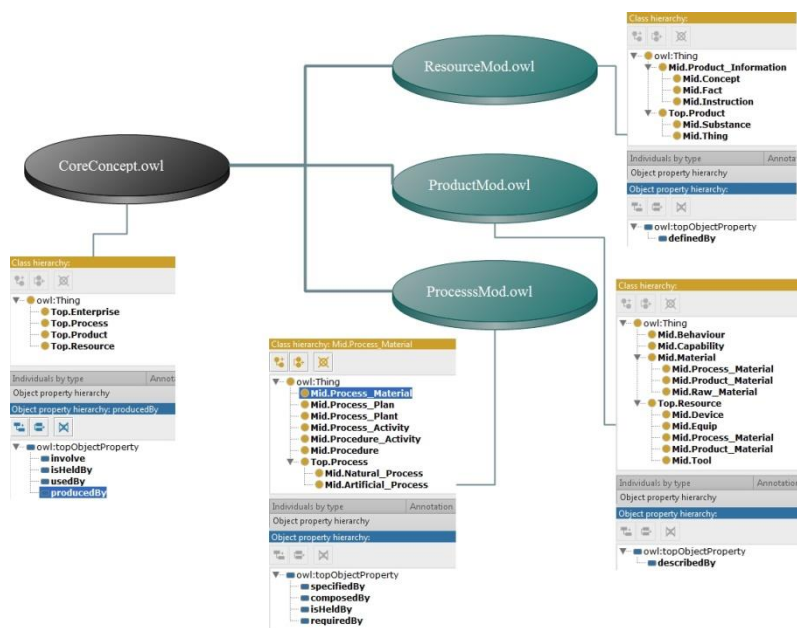


Fig. 6. Implementación OWL de las ontologías propuestas

4 Conclusiones

Para lograr esta propuesta se realizó el análisis de un gran volumen de estándares y trabajos relacionados, con el objeto de diseñar un esquema conceptual sencillo y flexible que permita la interoperabilidad de sistemas que empleen los diferentes estándares involucrados. La propuesta considera 3 niveles: una ontología de alto nivel que define 4 conceptos que son claves en todos los estándares, un segundo nivel que agrupa un conjunto de módulos que refinan la definición de los conceptos pertenecientes al nivel más alto y, finalmente, el nivel más bajo que permite la redefinición de los términos de los estándares en base a los conceptos definidos en los dos niveles superiores. Este trabajo describe los dos primeros niveles.

Los próximos pasos serán comprobar la integridad de la propuesta mediante la formalización de los esquemas conceptuales presentados. Una primera implementación en lenguaje OWL ha sido realizada utilizando el editor Protégé. En base a esta implementación se definirán las reglas que harán de enlace entre el nivel medio y el

inferior donde están los esquemas de dominio de cada estándar, y adaptar a un sistema de gestión del ciclo de vida de producto esta solución, para continuar con la fase de evaluación de la ontología. Analizando que metodologías, actividades y métricas se aplicarán para dicha evaluación, puesto que no hay una metodología formal aceptada por todos que considere todos los criterios posibles y que pueda ser aplicada para evaluarla en su totalidad.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer el apoyo brindado por las siguientes instituciones: CONICET y Universidad Tecnológica Nacional (PID 3810)

Referencias

- [1] V. Srinivasan, "An integration framework for product lifecycle management," *Comput. Des.*, vol. 43, no. 5, pp. 464–478, 2011.
- [2] S. R. Ray and a. T. Jones, "Manufacturing interoperability," *J. Intell. Manuf.*, vol. 17, no. 6, pp. 681–688, 2006.
- [3] "TOGAF® Version 9.1 - G116." [Online]. Available: <https://www2.opengroup.org/ogsys/catalog/G116>. [Accessed: 10-May-2016].
- [4] "European Interoperability Framework." [Online]. Available: http://www.urenio.org/e-innovation/stratinc/files/library/ict/15.ICT_standards.pdf. [Accessed: 10-May-2016].
- [5] A. Wiesner, J. Morbach, and W. Marquardt, "Information integration in chemical process engineering based on semantic technologies," *Comput. Chem. Eng.*, vol. 35, no. 4, pp. 692–708, Apr. 2011.
- [6] N. Chungoora, R. I. Young, G. Gunendran, C. Palmer, Z. Usman, N. a. Anjum, A. F. Cutting-Decelle, J. a. Harding, and K. Case, "A model-driven ontology approach for manufacturing system interoperability and knowledge sharing," *Comput. Ind.*, vol. 64, no. 4, pp. 392–401, 2013.
- [7] a. F. Cutting-Decelle, R. I. M. Young, J. J. Michel, R. Grangel, J. Le Cardinal, and J. P. Bourey, "ISO 15531 MANDATE: A Product-process-resource based Approach for Managing Modularity in Production Management," *Concurr. Eng.*, vol. 15, no. 2, pp. 217–235, 2007.
- [8] B. Bayer and W. Marquardt, "Conceptual information modeling for computer aided support of chemical process design," 2003.
- [9] Bayer, B., & Marquardt, W. A Comparison of Data Models in Chemical Engineering. *Concurrent Engineering*, 11, 129–138. 2003.
- [10] "ISO TC 184/SC 4." Available: <http://www.tc184-sc4.org>. 2005.
- [11] V. Fortineau, T. Paviot, and S. Lamouri, "Improving the interoperability of industrial information systems with description logic-based models-The state of the art," *Comput. Ind.*, vol. 64, no. 4, pp. 363–375, 2013.

- [12] M. Missikoff, “Emoi - interop’04,” *Architecture*, 2004.
- [13] B. Swartout, R. Patil, K. Knight, T. Russ, “Toward Distributed Use of Large-Scale Ontologies.” [Online]. Available: http://www.isi.edu/isd/banff_paper/Banff_final_web/Banff_96_final_2.html.
- [14] N. Guarino, “Formal Ontology and Information Systems,” *Proc. first Int. Conf.*, vol. 46, no. June, pp. 3–15, 1998.
- [15] “ISO 13584-102:2006 - Industrial automation systems and integration -- Parts library -- Part 102: View exchange protocol by ISO 10303 conforming specification.”
- [16] “ISO/TS 8000-311:2012 - Data quality -- Part 311: Guidance for the application of product data quality for shape (PDQ-S).”
- [17] “ISO/TS 15926-11:2015 - Industrial automation systems and integration -- Integration of life-cycle data for process plants including oil and gas production facilities -- Part 11: Methodology for simplified industrial usage of reference data.”
- [18] “ISO 10303-1:1994 - Industrial automation systems and integration -- Product data representation and exchange -- Part 1: Overview and fundamental principles.”
- [19] “ISO 15531-32:2005 - Industrial automation systems and integration -- Industrial manufacturing management data: Resources usage management -- Part 32: Conceptual model for resources usage management data.”
- [20] “ISO 15531-43:2006 - Industrial automation systems and integration -- Industrial manufacturing management data -- Part 43: Manufacturing flow management data: Data model for flow monitoring and manufacturing data exchange.”
- [21] “ISO 18629-1:2004 - Industrial automation systems and integration -- Process specification language -- Part 1: Overview and basic principles.”
- [22] “ISO 18629-11:2005 - Industrial automation systems and integration -- Process specification language -- Part 11: PSL core.”
- [23] “ISO 18629-12:2005 - Industrial automation systems and integration -- Process specification language -- Part 12: Outer core.”
- [24] “ISO 18629-41:2006 - Industrial automation systems and integration -- Process specification language -- Part 41: Definitional extension: Activity extensions.”
- [25] “ISO 18629-42:2006 - Industrial automation systems and integration -- Process specification language -- Part 42: Definitional extension: Temporal and state extensions.”
- [26] “ISO 18629-43:2006 - Industrial automation systems and integration -- Process specification language -- Part 43: Definitional extension: Activity ordering and duration extensions.”
- [27] “ISO 13584-1:2001 - Industrial automation systems and integration -- Parts library -- Part 1: Overview and fundamental principles.”
- [28] “ISO 13584-24:2003 - Industrial automation systems and integration -- Parts library -- Part 24: Logical resource: Logical model of supplier library.”
- [29] “ISO 13584-42:2010 - Industrial automation systems and integration -- Parts

- library -- Part 42: Description methodology: Methodology for structuring parts families.”
- [30] “ISO 15531-1:2004 - Industrial automation systems and integration -- Industrial manufacturing management data -- Part 1: General overview.”.
 - [31] “ISO 15531-44:2010 - Industrial automation systems and integration -- Industrial manufacturing management data -- Part 44: Information modelling for shop floor data acquisition.”.
 - [32] “ISO 18629-13:2006 - Industrial automation systems and integration -- Process specification language -- Part 13: Duration and ordering theories.”.
 - [33] “ISO 18629-14:2006 - Industrial automation systems and integration -- Process specification language -- Part 14: Resource theories.” .
 - [34] “ISO 18629-44:2006 - Industrial automation systems and integration -- Process specification language -- Part 44: Definitional extension: Resource extensions.”.
 - [35] “ISO 10303-49:1998 - Industrial automation systems and integration -- Product data representation and exchange -- Part 49: Integrated generic resources: Process structure and properties.”.
 - [36] “ISO 10303-239:2005 - Industrial automation systems and integration -- Product data representation and exchange -- Part 239: Application protocol: Product life cycle support.”.
 - [37] “ISO 10303-232:2002 - Industrial automation systems and integration -- Product data representation and exchange -- Part 232: Application protocol: Technical data packaging core information and exchange.”.