

# Capa Semántica para la Gerencia Integrada de Producción basada en Ontologías

César Bravo<sup>\*</sup>, José Aguilar Castro<sup>\*</sup>, Addison Ríos<sup>\*</sup>,  
Joseph Aguilar-Martín<sup>\*</sup>, Francklin Rivas<sup>\*</sup>

Fecha de Recibido: 16/02/11      Fecha de aprobación: 18/05/11

## Resumen

En este trabajo se presenta un marco ontológico para los procesos de producción industrial, cuyo objetivo es habilitar la Gerencia Integrada de Producción, que consiste en que los tomadores de decisiones puedan disponer de una visión global del estado del proceso productivo en tiempo real para tomar acciones oportunas y acertadas. El marco en ontológico presentado consiste tres elementos principales: un meta modelo de datos, que permite representar de forma genérica todos los conceptos que forman parte de la ontología; la meta data, que permite almacenar información sobre la localización y el origen de la información; los conceptos de carácter general, han sido previamente definidos en ontologías de acceso público o privado y pueden usarse en el marco ontológico a desarrollar; y, finalmente, los conceptos de dominio específico, que son el conjunto de conceptos particulares que forman parte de la ontología a desarrollar.

## 1. Introducción

Con el avance de la tecnología de información (TI) en ambientes industriales, se ha hecho necesario que las aplicaciones y sistemas empresariales inter-operen y cooperen, intercambiando información y servicios, para lograr una automatización integrada de la empresa. En consecuencia, este tema ha generado mucho interés en grupos de investigación y de las industrias de TI. En el sector de investigación se han propuesto una serie de marcos de trabajo y de lenguajes que permiten establecer los flujos de información y productos en las empresas, siendo el esfuerzo más notable el realizado en los estándares SP 88 [ISA, 1995] y SP 95 [ISA, 2000] de la ISA (International Society of Automation), y los lenguajes derivados de los mismos como B2MML<sup>†</sup> [World Batch Forum, 2004] y PSLX<sup>‡</sup> [PSLX Consortium, 2005]. En el sector de la industria de TI se han propuesto técnicas para el análisis y modelado de procesos de negocio (BPA y BPM<sup>§</sup>, respectivamente), y la definición de lenguajes, en general soportados sobre XML, para la implantación de dichas técnicas, entre los que destacan el Lenguaje de Ejecución de Procesos de Negocio (BPEL<sup>\*\*</sup>) y RossetaNET [Litchicum, 2004]. En la industria de petróleo se han realizado esfuerzos por la generación de ontologías para la integración de aplicaciones especializadas, entre los cuales resaltan WITSML [POSC, 2003-2006], PRODML [POSC, 2006], y la Ontología de Petróleo y gas (OGO) [POSC].

Particularmente, un marco ontológico permite el análisis semántico de la información obtenida desde las diferentes aplicaciones presentes en la plataforma de TI de una empresa. En este trabajo se presenta un marco ontológico en el cual se definen todos los conceptos relacionados con un proceso de producción. El mismo busca establecer un lenguaje único para el intercambio de datos entre diversas aplicaciones, y así garantizar la integración de las mismas a partir de una visión global del proceso de producción.

El modelo de datos presentado en este trabajo define la ontología que permite describir los objetos de negocio de la empresa sobre su plataforma de TI. El mismo permite realizar la interpretación de todos los elementos

---

<sup>\*</sup> Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería. Escuela de Sistemas, Mérida, Venezuela, {aguilar, ilich, rivas}@ula.ve

<sup>‡</sup> Se concede autorización para copiar gratuitamente parte o todo el material publicado en la *Revista Colombiana de Computación* siempre y cuando las copias no sean usadas para fines comerciales, y que se especifique que la copia se realiza con el consentimiento de la *Revista Colombiana de Computación*.

<sup>†</sup> Business to Manufacturing Modeling Language

<sup>‡</sup> Planning & Scheduling Language on XML Specification

<sup>§</sup> Business Process Analysis y Business Process Management, respectivamente

<sup>\*\*</sup> Business Process Execution Language

de la empresa sobre la plataforma de TI, estableciendo una ontología común a utilizar para la integración de los diversos sistemas y aplicaciones disponibles en la misma.

## **2. Marco Ontológico e Integración**

El marco ontológico es un elemento fundamental en una arquitectura de TI de una empresa, ya que asegura que el intercambio de información entre los diferentes sistemas y aplicaciones se realice sin ambigüedades, manteniendo la integridad de la información. Esto se logra, ya que en el marco ontológico se definen todos los conceptos utilizados para la transmisión de información entre los sistemas y aplicaciones de la empresa, e incluso entre los usuarios humanos, de forma de que cuando se envíe un mensaje, el emisor tenga la seguridad de que el receptor va a entender la información de la misma forma de cómo el primero la entiende, independientemente de que el emisor sea un ser humano o una aplicación.

Para el caso de integración de aplicaciones empresariales, la definición de una ontología parte de la descripción en un meta-lenguaje de la estructura de cada concepto utilizado para el intercambio de información entre aplicaciones y sistemas, en otras palabras, toda la información que vaya a ser transferida entre una aplicación y otra, ya sea un simple mensaje o una base de datos completa, debe tener una estructura, la cual debe describirse en un meta-lenguaje que está disponible para todas las aplicaciones. En ese sentido, debe disponerse de un catálogo o repositorio en el cual se almacenen todos los conceptos definidos en la ontología, que debe poder ser accedido por todas las aplicaciones y usuarios de la empresa. También debe disponerse de un lenguaje de consultas que permita acceder a los conceptos almacenados dentro del repositorio.

El meta-lenguaje más utilizado para el intercambio de información entre aplicaciones es el “Lenguaje de Enmarcado Extendido XML (eXtended Markup Language)”, del cual existe una especialización para la definición de ontologías, denominada “Lenguaje de Ontologías Web OWL (Web Ontology Language)”. Así mismo, existe un lenguaje de consultas para acceder a información descrita en OWL, denominado SPARQL [W3C, 1996-2003].

La ventaja de la implantación de una ontología dentro de una arquitectura de integración de aplicaciones empresariales radica en que los mensajes transmitidos entre las aplicaciones deben ser menos explícitos ya que, a través de la ontología, los conceptos se enriquecen en su semántica, lo que permite que cada aplicación pueda entender claramente el significado de la información transmitida. Esto posibilita que se resuelvan problemas de mala interpretación de los datos, ya sea porque en diferentes aplicaciones existen conceptos nombrados de forma diferente pero que significan lo mismo (sinónimos), o conceptos que se nombran igual pero que tienen significados diferentes (homónimos).

## **3. Marco Ontológico propuesto para el problema de Integración en Procesos de Producción**

Este trabajo propone una Capa de Semántica para la plataforma de TI de las empresas de producción continua [Bravo, et al. 2008] [Bravo, et al. 2011] (ver figura 1), la cual se constituye de una ontología que tiene cuatro componentes fundamentales (ver figura 2): Meta-Data, Ontologías de Carácter General, Meta-Modelo de Datos y Ontología de Dominio Específico. Con esta ontología, si una aplicación requiere información proveniente de otra aplicación o sistema, la misma podrá saber en qué forma estará expresada la misma (sintaxis) y su significado (semántica).

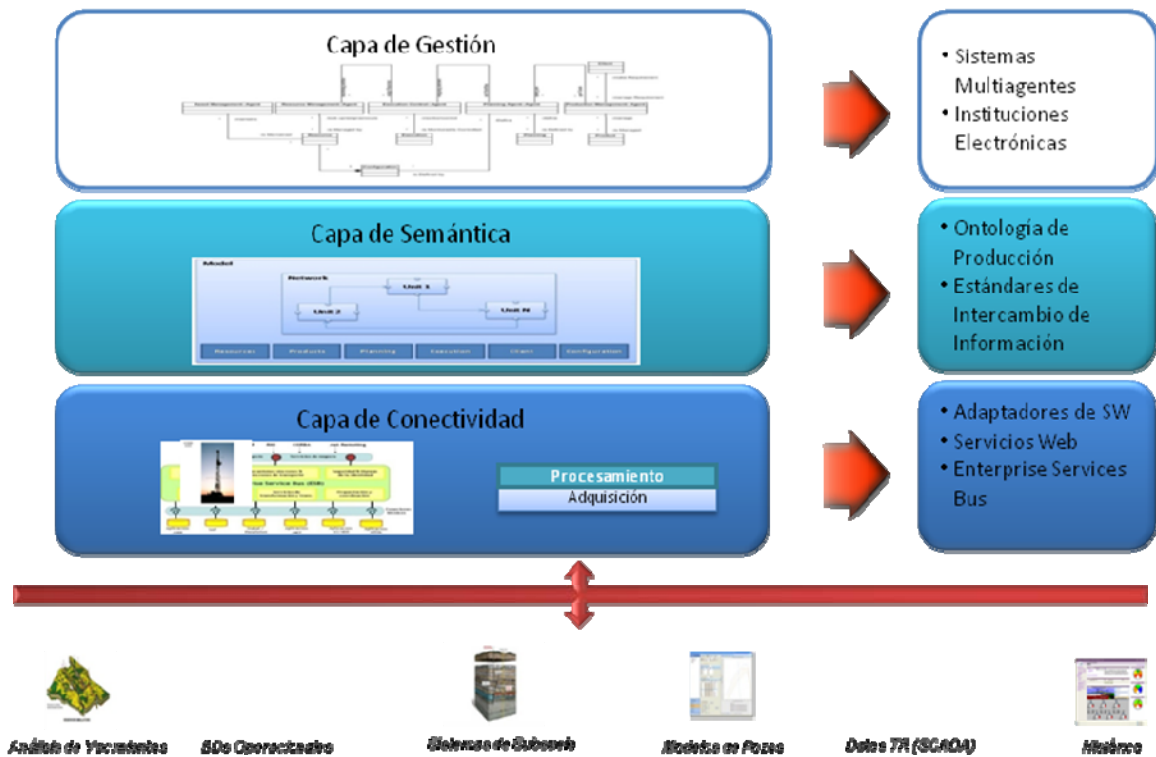
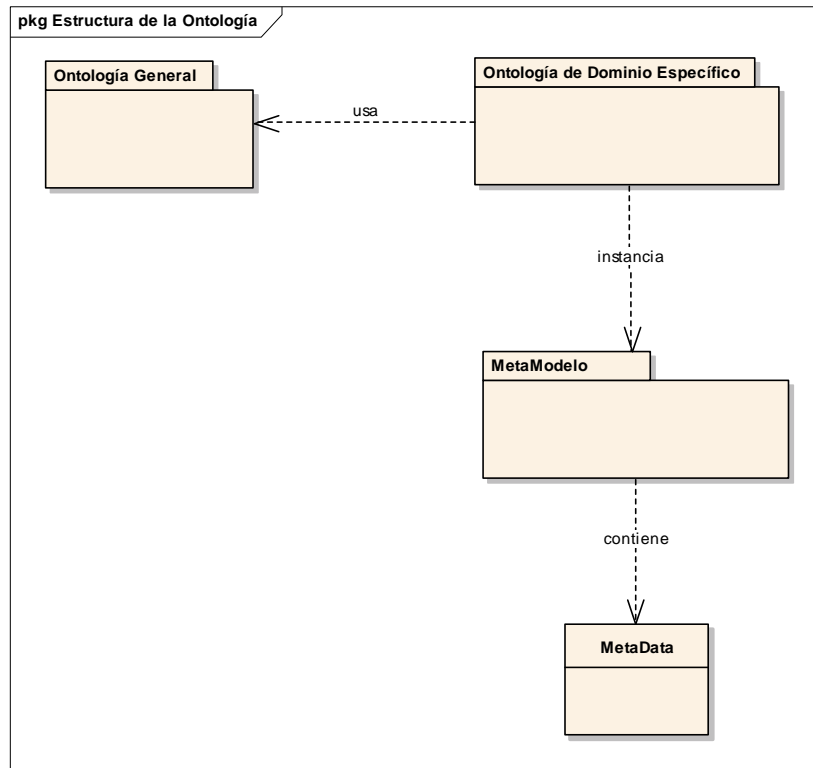


Fig. 1. Arquitectura basada en Inteligencia Artificial Distribuida para la Gerencia Integrada de Producción Industrial propuesta en [Bravo, et al. 2011]

Las *Ontologías de Carácter General* se comprenden de conceptos que, si bien no son exclusivos del dominio en el cual se implantará el marco ontológico, son fundamentales para que el mismo esté completo; dichos conceptos pertenecen a subconjuntos de ontologías ya definidas, de acceso público o privado. El *Meta-Modelo de Datos* establece una estructura común para definir los conceptos de la *Ontología de Dominio Específico*, la cual comprende todos los conceptos a utilizar en la Capa Semántica dentro de la arquitectura. Dicho Meta-Modelo de Datos está caracterizado por la *Meta-Data*, la cual define la información que debe ser expuesta por cada concepto dentro de la ontología. Cada uno de estos componentes se explicará a continuación. La relación entre cada uno de los componentes de la Ontología se presenta en la figura 1.



**Fig. 2.** Componentes de la Ontología

### 3.1 Meta-Data

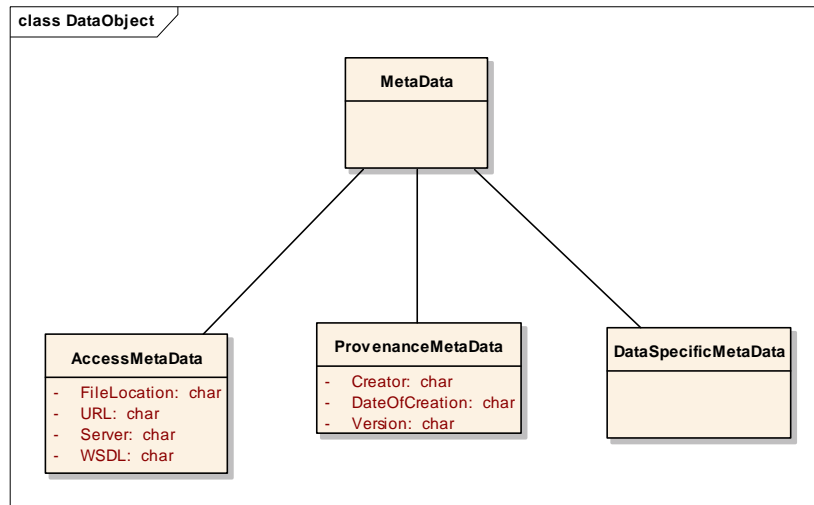
Para la construcción de la Ontología se define una estructura para los conceptos, que organiza la meta-información que se tiene de cada elemento dentro de la arquitectura. Tomando como referencia la estructura presentada en [Soma, et al., 2008], se definen tres tipos de información de que debe disponer cada elemento dentro de la ontología:

**Meta-data de Acceso:** Corresponde al origen de la información de cada elemento en la ontología. Este origen puede ser la aplicación que genera la información, la dirección del archivo que la contiene, la dirección URL de donde se encuentra la información, la dirección IP del servidor de aplicaciones que la genera, la localización de la BD en donde esté almacenada, etc.

**Meta-data de Creación:** es la información sobre la persona o proceso que genera la información. Generalmente tiene que ver con el nombre del usuario, o el proceso, que generó la información.

**Meta-data Específica de la Información:** es la información sobre el contenido expresado por el elemento de la ontología. Dependerá del sentido del concepto y, en general, es un resumen conciso sobre los elementos más importantes que involucra el concepto.

En la figura 3 se presenta un esquema de la meta-data asociada a cada concepto de la ontología:



**Fig. 3.** Meta-data asociada a cada Elemento de la Ontología

Asociar meta-data a cada concepto de la ontología, servirá como herramienta para optimizar búsquedas en la Capa de Semántica y para utilizar los conceptos como mecanismos de integración entre aplicaciones, ya que al disponer de datos acerca de la localización y origen de la información, el acceso a la misma se puede realizar de una forma eficiente.

### 3.2 Ontologías de Carácter General

Este componente agrupa todos los conceptos que son de uso general, independientemente del tipo de industria en la cual sea implementada la arquitectura. Los conceptos utilizados en la Ontología de Carácter General, son extraídos de ontologías ya definidas, ya que esto permite re-usar conceptos establecidos y ampliamente aceptados y reducir el esfuerzo en la construcción de la Capa de Semántica.

Particularmente, como en este trabajo se presenta un marco ontológico en el cual se definen todos los conceptos relacionados a un proceso de producción, los conceptos de uso general en este ámbito que nos interesa son los relacionados con instalaciones industriales, medidas físicas, unidades de tiempo, sistemas a estados y procesos en general. En nuestro caso, los conceptos de carácter general han sido obtenidos de las ontologías SWEET, desarrollados por el Laboratorio de propulsión a chorro de la NASA [NASA. Jet Propulsion Laboratory. California Institute of Technology 2009].

### 3.3 Meta-Modelo de Datos

El Meta-Modelo de Datos (MMD) dentro de la ontología, consiste en una estructura genérica para representar las Unidades de Producción del proceso industrial a modelar. Esta estructura genérica está inspirada en dos modelos: la arquitectura PROSA [Wins, 1999] y el estándar PRODML [POSC, 2006].

La estructura tiene su centro en la Unidad de Producción, la cual es el elemento fundamental en una empresa de producción continua. Una Unidad de Producción es toda aquella facilidad dentro de la empresa que genera un producto, ya sea intermedio o final, a través de la aplicación de un determinado método y del uso de una cantidad definida de recursos (energía, suministros, etc.). La Unidad de Producción atiende a una meta de producción y a unas restricciones que son establecidas por niveles superiores en la empresa y, a su vez, genera información de su estado para que el mismo pueda ser supervisado. Finalmente, además del producto generado, la Unidad de Producción genera desperdicios, los cuales deben ser óptimamente manejados de forma de minimizar el impacto al ambiente de la unidad [Chacón, 2001]. Un esquema de la Unidad de Producción se presenta en la figura 4.

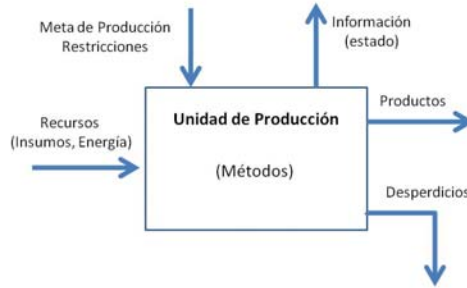


Fig. 4. Unidad de Producción

El MMD tiene como objetivo representar todas las Unidades de Producción a través de un esquema genérico, que simbolice los elementos descritos anteriormente. Para ello se ha realizado una adaptación del modelo holónico PROSA [Wins, 1999], que representa todas las unidades de producción a partir de tres elementos fundamentales: Producto, Recursos y Órdenes, combinándolo con la arquitectura PRODML que establece una arquitectura de Unidades de Producción para procesos de producción de petróleo [POSC, 2006]. Como resultado, se obtiene una representación de Unidades de Producción que tiene asociados los siguientes elementos: Recursos, Productos, Métodos, Condición, Proveedores y Clientes. De esta manera se reduce la complejidad del marco ontológico, ya que se define una estructura común para las Unidades de Producción, que hace más fácil la implantación de la ontología a través de la reutilización de conceptos. En la figura 5 se puede observar un esquema con los elementos del MMD. Los conceptos del meta-modelo se presentan a continuación.

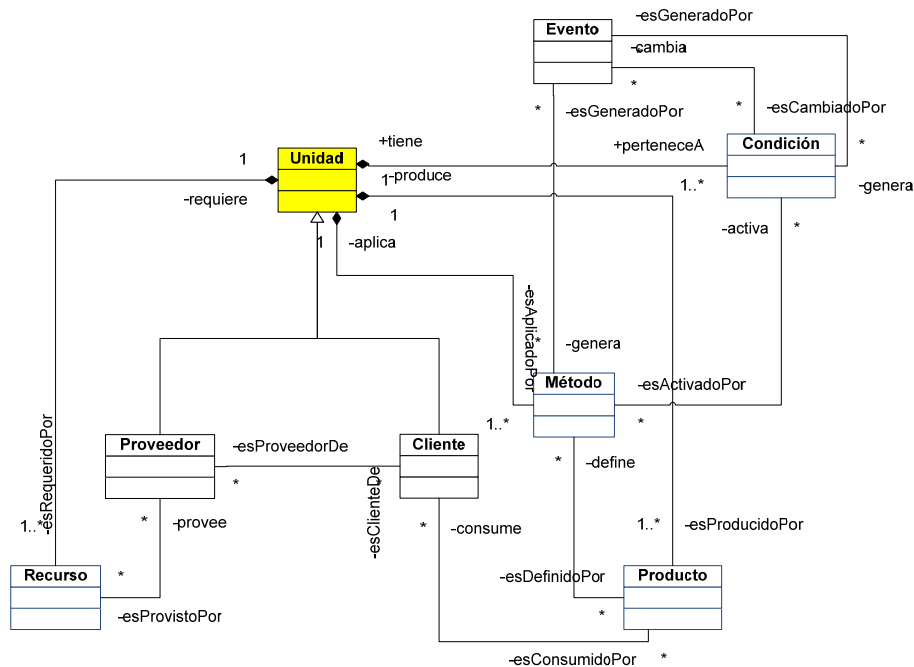


Fig. 5. Conceptos del MMD

**Unidad de Producción:** es el elemento central del meta-modelo. Representa cualquier unidad de producción dentro de una arquitectura empresarial. Todos los conceptos de la ontología estarán relacionados con la Unidad de Producción. Un conjunto de Unidades de Producción puede conformar a su vez una nueva Unidad de Producción en un nivel superior de la arquitectura, lo que permite obtener un modelo recursivo de los elementos de la empresa.

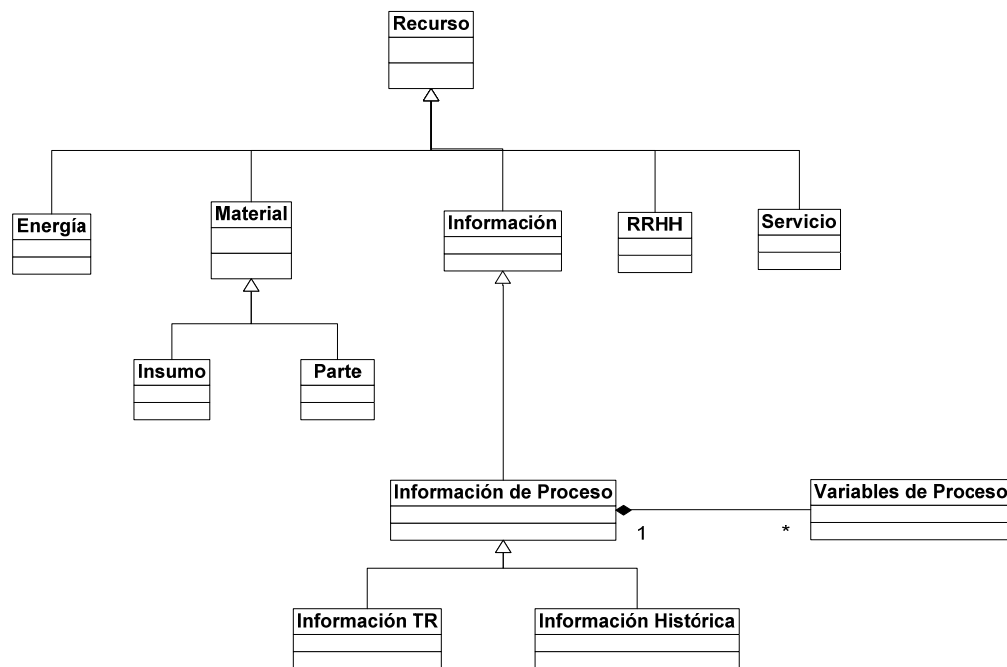
**Cliente:** representa al cliente al cual la unidad de producción entregará sus productos. Es el cliente quien realiza la demanda de producción. El cliente a su vez es una unidad de producción, por lo cual se representa como una generalización de dicho concepto. El cliente consume los Productos que son provistos por Proveedores.

**Proveedor:** representa a todo proveedor de servicios y/o recursos a la Unidad de Producción. El proveedor es también una unidad de producción, por lo cual se representa como una generalización de dicho concepto. El proveedor provee Recursos a los Clientes.

**Producto:** es el producto generado (producido) por la Unidad de Producción, que será consumido por el (los) Cliente(s).

**Recurso:** representa los recursos que necesita la Unidad de Producción para generar sus productos. Los recursos son provistos por los Proveedores a los Clientes. Estos recursos pueden ser (ver figura 6):

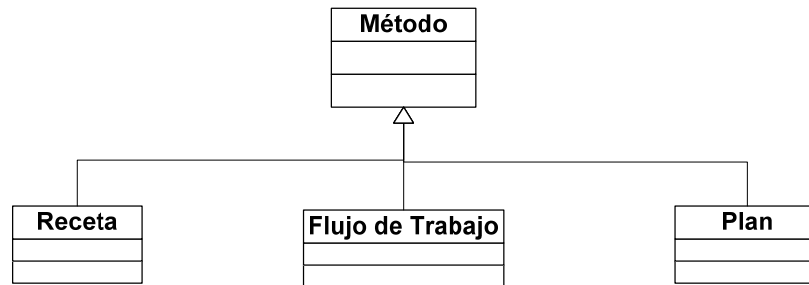
- Energía: energía de cualquier tipo (eléctrica, hidráulica, neumática, etc.) requerida para la producción. En general, es medida en términos de flujos (corriente, pies cúbicos de alguna sustancia, barriles, etc.)
- Material: son los materiales requeridos para ejecutar la producción. Generalmente son medidos por unidades de material. Los materiales pueden categorizarse en insumos y partes.
- Servicio: servicios que la Unidad de Producción solicita a otras unidades, y que son requeridos para la ejecución de la producción.
- Fuerza de Trabajo (Recursos Humanos): cantidad de personal requerido para ejecutar las tareas de producción.
- Información: recursos de información, tales como: bases de datos, bases de conocimientos, documentos, etc., que son requeridos para la ejecución y monitoreo del proceso de producción. Dentro de los recursos de información se encuentra la Información de Proceso, que refleja el estado actual y los estados pasados del proceso de producción. La Información de Proceso se divide en Información de Tiempo Real del Proceso e Información Histórica del Proceso. Dicha información de proceso es definida por las Variables de Proceso, las cuales son las cantidades medibles de las características del proceso (tales como flujos, presiones, temperaturas, etc.).



**Fig. 6.** Meta Modelo: Recursos de la Unidad de Producción

**Método:** representa los métodos utilizados por la unidad de producción para generar sus productos. Así, una Unidad de Producción aplica un Método, que genera un Producto. La aplicación de Métodos genera Eventos que cambian la Condición de la Unidad de Producción. Estos métodos pueden ser (ver figura 7):

- Recetas: algoritmos de control, programas, lista de pasos, etc., definidos para realizar alguna tarea dentro de la unidad de producción.
- Flujos de trabajo: secuencia de actividades y/o procesos llevados a cabo dentro de la unidad de producción.
- Planes: definición de actividades, uso de recursos, asignación de tareas y productos generados dentro de un determinado período de tiempo, en función de una meta de producción.



**Fig. 7.** Meta Modelo: Métodos

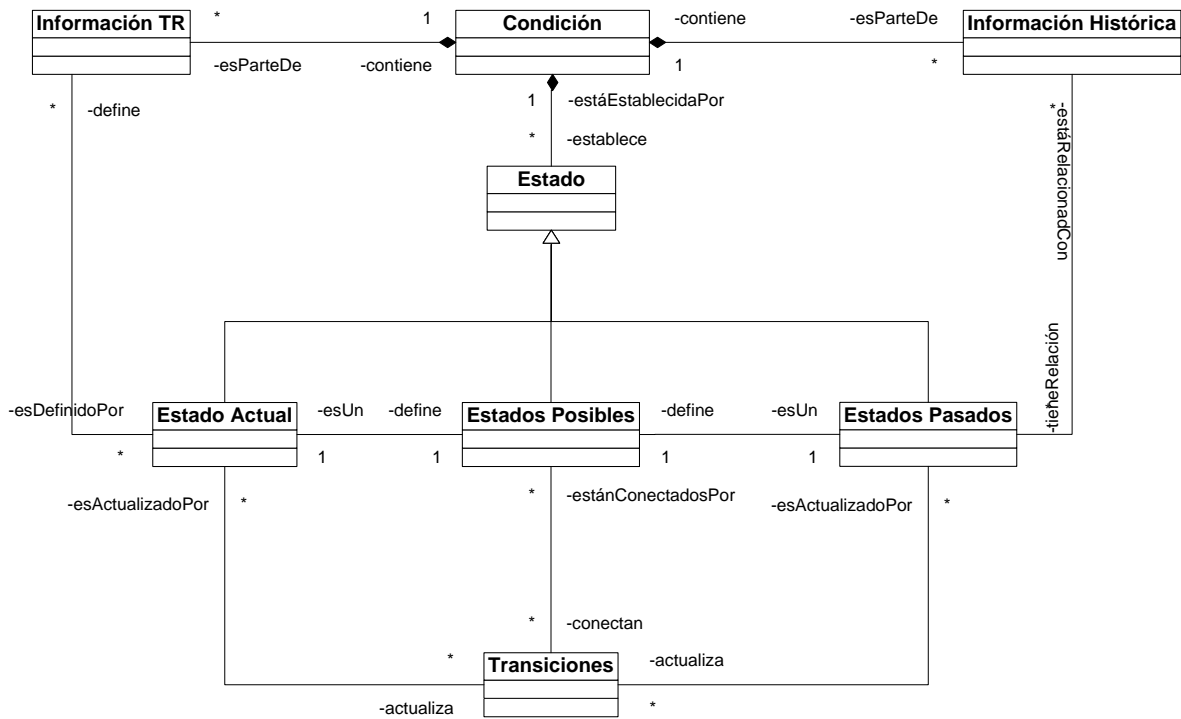
**Condición:** representa el estado de la unidad de producción, tanto el estado actual como los estados pasados. La Unidad de Producción tiene una Condición que puede cambiar a partir de la ocurrencia de un Evento específico. Así mismo, una Condición determinada de la Unidad de Producción puede activar un Método para llevar a la Unidad de Producción a la Condición deseada. La condición de la unidad de producción está definida por los siguientes elementos (ver figura 8):

Evento: representa los eventos que al ocurrir pueden generar un cambio de estado de la Unidad de Producción.

Estado: representa el conjunto de estados de la unidad de producción, los cuales son:

1. Estado Actual: estado actual de la unidad de producción. Este estado está definido por la información de tiempo real del proceso (RealTimeProcessInformation), la cual está compuesta por el valor actual de las variables de proceso y su respectiva estampilla de tiempo.
2. Estados Pasados: conjunto de estados pasados de la unidad de producción, vinculado a la información histórica de la unidad de producción. Está definido por la información histórica del proceso, la cual está compuesta por los valores pasados de las variables de proceso, en un período de tiempo determinado y con una granularidad definida.
3. Estados Posibles: conjunto de estados posibles en los cuales puede estar la unidad de producción en un instante de tiempo determinado. El paso de un estado a otro se realiza a través de transiciones, las cuales son generadas por eventos que están definidos en el modelo.





**Fig. 8.** Meta Modelo: Condición

Para el desarrollo del Meta-Modelo en OWL, se categorizó a todos los conceptos pertenecientes al mismo como “Conceptos de Producción”; esto permitirá distinguir los conceptos del meta-modelo de los conceptos de las ontologías de carácter general y de dominio específico, que formarán parte de la Capa de Semántica. El árbol del Meta-Modelo, desarrollado en Protégé [Standfor University, 2009], se presenta en la siguiente figura:

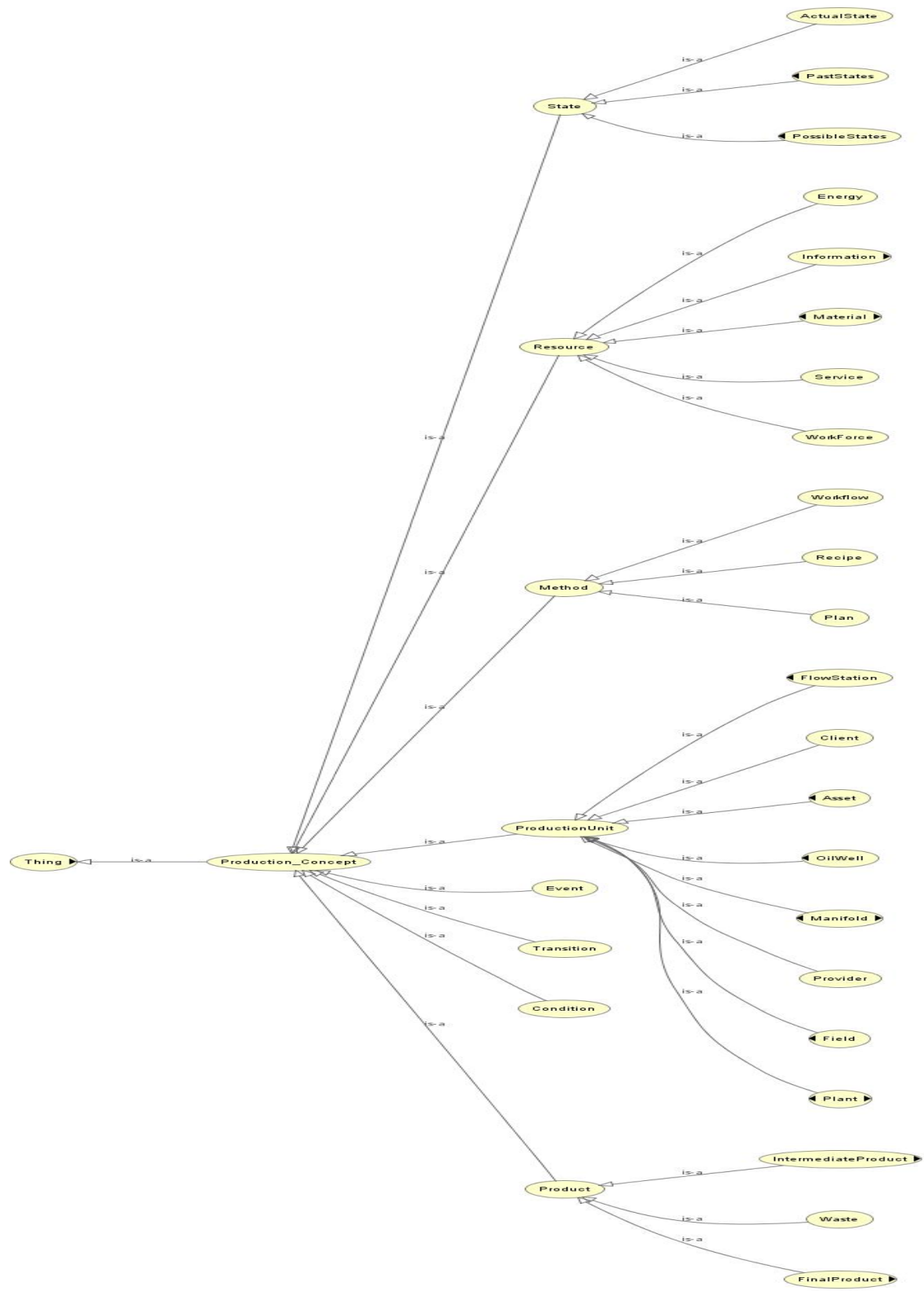


Fig. 9. Árbol del Meta-Modelo

### 3.4 Ontología de Dominio Específico

La Ontología de Dominio Específico contiene todos los conceptos a usar en la Capa de Semántica para el entorno de integración industrial donde se esté implantando. En la Ontología de Dominio Específico se construyen los conceptos a partir de la estructura definida en el meta-modelo. Cada concepto, además, tendrá asociada meta-data para facilitar su búsqueda en el repositorio de conceptos. Por otro lado, para simplificar la construcción de las ontologías, se re-utilizarán conceptos de uso general, a partir del componente de Ontología de Carácter General.

Los conceptos y funciones de cada dominio específico dependerán del tipo de industria en el que se implante la arquitectura. En la sección que sigue daremos un ejemplo de las mismas para el caso concreto de Procesos de Producción de Petróleo

## 4. Caso de Estudio: Producción de Petróleo

### 4.1. Descripción General de la OilProductionOntology

Como caso de estudio se presenta el desarrollo de una ontología para el proceso de producción de petróleo, la cual se ha denominado “OilProductionOntology (Ontología de Producción de Petróleo)”. Dicha ontología está compuesta por más de 150 conceptos relativos al proceso de producción petrolera.

Siguiendo el enfoque propuesto en [Soma, et al., 2008], los *conceptos de carácter general* a utilizar en la OilProductionOntology serán los propuestos en las Ontologías de la Web Semántica para la Terminología de Ciencias de la Tierra y el Ambiente (SWEET), desarrolladas en el Laboratorio de Propulsión a Chorro del Instituto de Tecnología de California (CalTech, Jet Propulsion Laboratory), en colaboración con la NASA [NASA. Jet Propulsion Laboratory. California Institute of Technology, 2009]. Estos conceptos servirán como base para la construcción de la OilProductionOntology.

Los conceptos de la Ontología SWEET utilizados para la construcción de la Capa de Semántica son *Entidad Temporal*, en el cual se definen nociones referentes a unidades de medición de tiempo, *Estados del Sistema*, donde se definen los posibles estados en que puede estar un sistema, e *Infraestructura*, en el cual se definen conceptos sobre facilidades y equipos utilizados en ambientes de producción. Dichos conceptos pueden ser accedidos en [NASA. Jet Propulsion Laboratory. California Institute of Technology, 2009].

Para la construcción de los *conceptos de dominio específico* que componen la OilProductionOntology, se creó dentro de la ontología un concepto denominado “Concepto de Producción de Petróleo (Oil Production Concept)”, el cual agrupa a todos los conceptos relativos al dominio de producción de petróleo. De esta manera se crea un sub-conjunto para los Conceptos de Dominio Específico, estableciendo una distinción entre los mismos y los conceptos provenientes de las Ontologías de Carácter General utilizados (SWEET) y del MMD.

La OilProductionOntology tiene como centro de sus conceptos las unidades de producción existentes en un campo petrolero. Por esta razón, los primeros conceptos definidos dentro de la ontología son los correspondientes a dichas unidades de producción.

### 4.2. Conceptos de Dominio Específico de la OilProductionOntology: Unidades de Producción

Las unidades de producción consideradas para el desarrollo de la OilProductionOntology son:

**Pozo:** instalación comprendida por un conjunto de tuberías, válvulas, bombas, empacaduras y elementos de automatización que permiten extraer el fluido de producción desde el subsuelo, hasta la superficie.

**Estación de Flujo:** instalación en la que se realiza el proceso de separación entre la fase gaseosa y la fase líquida del fluido de producción. En esta instalación también se realizan las medidas que establecen cuanto está produciendo cada pozo, denominadas “pruebas de pozo”.

**Múltiple:** unidad de producción que permite que varias tuberías confluyan en una tubería común o que el fluido que llega de una tubería sea distribuido en múltiples líneas.

**Planta:** instalación de superficie que permite la generación de algún tipo de energía que permite soportar la producción de los pozos.

**Campo:** unidad de producción que consiste en una colección de pozos e instalaciones de superficie organizadas en una red cuyo objetivo es la producción de un yacimiento petrolífero.

Alrededor de la definición de estas unidades de producción se desarrolla el resto de los conceptos de la ontología, los cuales están estructurados de acuerdo con el MMD. Para cada unidad de producción se definen conceptos relativos a recursos, productos métodos y condiciones de operación.

En la figura 10 se muestra un esquema con los conceptos relacionados con la unidad de producción pozo. La definición completa de la OilProductionOntology puede encontrarse en [Bravo, 2010].



Fig. 10. Conceptos de la Unidad de Producción Pozo. OilProductionOntology

A continuación se presentan, a manera de ejemplo, una breve descripción de los conceptos relativos a la Unidad de Producción Pozo.

### Productos de la Unidad de Producción Pozo

**Fluido de Producción (ProductionFluid):** es el fluido multifásico de producción. Contiene petróleo, gas, agua y sedimentos. Es considerado un producto intermedio.

**Petróleo (Oil):** hidrocarburo utilizado como combustible fósil. Principal objetivo de producción. Es considerado un producto final.

**Gas:** hidrocarburo con poco contenido de carbono que es producido en conjunto con el petróleo y en algunos casos como fluido primario de producción. Es también utilizado como fluido de inyección a los pozos para facilitar el levantamiento (gas lift) o directamente al yacimiento para mantener la presión del mismo.

**Agua (Water):** Agua producida resultado de la separación del fluido de producción. En algunos casos es utilizada como fluido de inyección para soportar el proceso de levantamiento artificial. Es considerado un producto final.

## Recursos de la Unidad de Producción Pozo

### *Partes*

#### Materiales:

**Empacadura (Packer):** Dispositivo que permite aislar secciones en una completación.

**Tubería de Revestimiento (Casing):** tubería que recubre pozo.

**Línea de Producción (ProductionPipeLine):** tubería de producción que conecta al pozo con la estación de flujo.

**Línea de Inyección (InjectionPipeLine):** tubería de inyección que conecta el múltiple de gas con el pozo.

**Tubería de Producción (Tubing):** Tubería por donde sale crudo.

**Válvula de Fondo (Bottom Hole Valve):** es una válvula de control que permite controlar el flujo desde la cara de la arena en el fondo del hoyo hacia el pozo.

**Válvula de Gas de Levantamiento (Gas Lift Valve):** es una válvula que permite la inyección de gas de levantamiento desde el anular hacia la tubería de producción.

**Válvula de Control Línea de Producción (Production Line Control Valve):** es una válvula de tipo Choke que permite regular el flujo desde el pozo hacia la tubería de producción que conduce a la estación de flujo.

#### Insumos:

**Gas de Inyección:** se corresponde con el flujo de gas de inyección que se le suministra a los pozos de producción por levantamiento artificial por gas.

**Agua de Inyección:** se corresponde con el flujo de agua de inyección que se le suministra a los pozos que funcionan por inyección de agua o hidrojet.

**Corriente Eléctrica:** se corresponde con el flujo de corriente eléctrica que se le suministra a los pozos que funcionan mediante bombeo mecánico, electrosumergible o de cavidad progresiva.

### *Información*

#### Variables de Proceso:

**Producción Actual:** Cantidad total de barriles de fluido de producción (petróleo + gas + agua + sedimentos) producidos por un pozo en un día. Es una medida de Flujo.

**BBPD:** Barriles brutos por día. Unidad de medida correspondiente a la cantidad total de barriles de fluido de producción (petróleo + gas + agua + sedimentos) producidos por un pozo en un día. Es una medida de Flujo.

**NBPD:** Barriles netos por día. Unidad de medida correspondiente a la cantidad total de barriles de petróleo producidos por un pozo en un día. Es una medida de Flujo.

**BHP:** Presión de fondo del hoyo (Bottom Hole Pressure). Es la presión existente al final de la tubería de producción (tubing), en el fondo del hoyo, para cada pozo.

**CHP:** Presión del revestidor en el cabezal (Casing Head Pressure). Presión existente en la entrada al anular (espacio entre las tuberías de revestimiento y tuberías de producción), en el cabezal del pozo. Generalmente medido para pozos que funcionan por gas lift, hidrojet o inyección de agua.

**PLP:** Presión en la línea de producción (Production Line Pressure). Presión existente en la tubería que va desde el cabezal del pozo hasta la estación de flujo. Generalmente medida después de la válvula choke<sup>††</sup> que regula el paso del fluido de producción desde el cabezal hacia la línea de producción.

**PWF:** Presión de fondo fluyente (Well Flowing Pressure). Es la presión existente entre el yacimiento y la entrada a la tubería de producción, en el fondo del hoyo.

**THP:** Presión de la tubería de producción en cabezal (Tubing Head Pressure). Presión en la tubería de producción de la completación (tubing) medida en cabezal, antes de la válvula choke.

**THT:** Temperatura de la tubería de producción en cabezal (Tubing Head Temperature). Temperatura en la tubería de producción (tubing) de la completación medida en cabezal, antes de la válvula choke.

**Qgl:** Flujo de gas de inyección para un pozo, medido en el cabezal. En general se mide en Miles de Pies Cúbicos por Día (MCFD).

**Qo:** Flujo de fluido de producción para un pozo, medido en el cabezal. Generalmente se mide en Barriles por Día (BD).

**Qoc:** Producción acumulada de petróleo por pozo en un período determinado de tiempo. Generalmente medida en Barriles.

---

<sup>††</sup> Válvula Choke: válvula que permite el flujo en una sola dirección. Utilizada normalmente para permitir el flujo desde el cabezal del pozo hacia la tubería de producción y evitar el flujo en sentido inverso.

**API:** gravedad API del crudo. Establece qué tipo de crudo se está produciendo (extra-pesado, pesado, mediano, liviano).

**GOR:** relación gas petróleo (Gas Oil Rate). Determina la cantidad de petróleo producido por flujo de gas inyectado. Generalmente medido en Miles de Pies Cúbicos (MCF).

**Corte de Agua (WC):** porcentaje de la fase de agua que posee el crudo en relación con la cantidad total de fluido producido por el pozo.

### ***Información de Proceso:***

**Completación (Completion):** Se refiere a la configuración que dispone el pozo. Comprende los siguientes conceptos:

**Profundidad:** profundidad total del pozo, desde la superficie hasta el fondo del hoyo. Para pozos que producen más de una arena se considerarán las profundidades hasta cada arena productora.

**Diámetro del Revestidor:** Diámetro de la tubería de revestimiento (casing). Existen casos en que el diámetro del revestidor disminuye a medida que aumenta la profundidad, para estos casos se dispondrá de un arreglo con las medidas del diámetro del revestidor para cada sección de la tubería.

**Diámetro de la Tubería de Producción:** Diámetro de la tubería de producción (tubing). Existen casos en el que el diámetro de la tubería de producción disminuye a medida que aumenta la profundidad, para estos casos se dispondrá de un arreglo con las medidas del diámetro para cada sección de la tubería. Los puntos en los que la tubería de producción disminuye su diámetro se denominan “botellas”.

**Método de Producción:** Define el método de producción utilizado por el pozo para lograr su producción.

**Equipo de bombeo:** Descripción del equipo de bombeo con el que cuenta el pozo, en el caso de que el mismo funcione a través de un método de levantamiento por bombeo mecánico, electrosumergible o de cavidad progresiva.

**Válvulas de Gas Lift:** Descripción de la válvula de gas lift de la que dispone el pozo en el caso de funcionar por levantamiento artificial por gas. En la mayoría de los casos de levantamiento artificial por gas existen varias válvulas de gas lift, por lo que se define un arreglo con la información relativa a cada una: profundidad, presión, tipo de válvula.

**Equipos de Subsuelo:** Se refieren a los equipos de automatización de los que dispone el pozo en el subsuelo. Estos equipos pueden ser:

Válvulas de fondo.

Sensor de Presión.

Sensor de Temperatura.

Sensor de Flujo.

**Equipos de superficie:** Se refieren a los equipos de automatización de los que dispone el pozo en el cabezal.

Estos equipos pueden ser:

Válvula Choke.

Sensor de Presión.

Sensor de Temperatura.

Sensor de Flujo.

**Prueba de Pozo (WellTest):** Prueba realizada a los pozos en las estaciones de flujo, mediante las cuales, a través de un proceso de separación mecánico y/o químico de fluidos, pueden medirse las siguientes variables por cada pozo: BNPD, GOR, WC. En general, se almacenan los resultados de la última prueba de pozo en la Base de Datos de Producción.

**Potencial de Producción (PotentialProduction):** Es el número total de barriles que puede producir un pozo en un período de tiempo bajo condiciones ideales (disponibilidad total de la energía requerida, tuberías de producción disponibles, no se presenta ningún tipo de problema en subsuelo).

**Modelo de Pozo (WellModel):** Representa el comportamiento del pozo de acuerdo con la energía aportada por el yacimiento y la energía necesaria para que el pozo lleve el fluido hasta la superficie.

**Curva de Afluencia (InflowCurve):** Es una curva que representa el cambio de la presión en el yacimiento de acuerdo con la producción de un pozo.

**Curva de Efluencia (OutflowCurve):** Es una curva que representa la presión (energía) requerida para una determinada producción en el pozo.

**Punto de Operación (OperatingPoint):** representa el punto de cruce entre las curvas de afluencia y efluencia, que determina la cantidad de energía que se necesita inyectar al pozo para que pueda producir una cantidad deseada de crudo.

## Métodos de la Unidad de Producción Pozo

**Flujo Natural:** es el método de producción debido a la energía natural del yacimiento, es decir, cuando la diferencia de presión entre el yacimiento y el cabezal de pozo es suficiente para llevar el fluido de producción hasta la superficie.

**Levantamiento Artificial por Gas:** es el método de producción que consiste en inyectar gas en el fondo del pozo, para reducir el peso de la columna de fluidos, de esta forma se reduce la presión de fondo fluuyente por lo que se incrementa la tasa de producción.

**Bombeo Electrosumergible:** consiste en colocar una bomba centrífuga en la tubería de producción, para impulsar los fluidos hasta la superficie. La bomba es impulsada por un motor eléctrico que se encuentra en el fondo del pozo con la finalidad de utilizar el mismo fluido de producción como fluido de enfriamiento.

**Bombeo Mecánico:** método de producción en el cual se utiliza una bomba basada en un arreglo cilindro-pistón para levantar los fluidos de producción hasta la superficie.

**Bombeo de Cavidad Progresiva:** método de producción en el que se utiliza una bomba de desplazamiento positivo, basada en el “Tornillo de Arquímedes” para transportar los fluidos desde el yacimiento hasta la superficie.

**Bombeo Hidráulico o Hidrojet:** método de producción que utiliza la energía potencial de un fluido a presión para levantar los fluidos desde el yacimiento hasta la superficie.

## 5. Conclusiones

El marco ontológico presentado en este trabajo se compone de cuatro elementos fundamentales: la Meta Data, la cual permite definir el origen y la ubicación de la información; el Meta-modelo de datos, que permite estandarizar la forma como se construyen los conceptos dentro de las ontologías de la empresa; las Ontologías de Carácter General, que permiten que se reutilicen conceptos definidos en otras ontologías desarrolladas en la comunidad científica e industrial; y los Conceptos de Dominio Específico, que son los conjuntos de conceptos de la ontología pertenecientes a un proceso productivo particular.

El aporte fundamental de la ontología presentada, es el Meta-modelo de datos, ya que, el mismo establece una estructura genérica para la construcción de conceptos del área de producción industrial, basándose en los modelos PROSA y PRODML, a través de la cual se simplifica la búsqueda y análisis de la información representada en la ontología.

El trabajo presenta un caso de estudio de implantación del marco ontológico para el proceso de producción de petróleo, en el cual se desarrolla una ontología para dicho proceso, denominada OilProductionOntology. En este caso de estudio se utilizan los diversos componentes del marco ontológico. Como ontologías de carácter general se hace uso de las ontologías SWEET desarrolladas por la NASA, las cuales proveen conceptos relacionados con ciencia e Ingeniería. La re-utilización de los conceptos de las Ontologías SWEET redujo considerablemente el esfuerzo en la construcción de la OilProductionOntology.

Para la construcción de ontología, se utilizó la herramienta Protégé, la cual fue muy útil para construir los conceptos y las relaciones entre los mismos.

## Referencias

- [1] Bravo, César, José Aguilar, Joseph Aguilar-Martín, Francklin Rivas, Addison Ríos y Luis Saputelli. *An implementation of a Distributed Artificial Intelligence Architecture to the Integrated Production Management*, Journal of Natural Gas Science & Engineering, Elsevier, Vol. 3, No. 6, pp. 735-747, 2011.
- [2] Bravo, César. *Inteligencia Artificial Distribuida como estrategia para la Gerencia Integrada de Producción Industrial*. Tesis Doctoral, Mérida: Universidad de los Andes, 2010.

- [3] Bravo César, Aguilar José, Ríos Addison, Aguilar Martín Joseph, Rivas Francklin. A Generalized Data Meta-Model for Production Companies. Recent Advances on Applied Mathematics. Proceedings of the American Conference on Applied Mathematics (MATH 08). 24-26 Marzo 2008. Cambridge, MA. USA.
- [4] Chacón, Edgar. «Modelado y control de sistemas continuos de producción bajo una visión holónica.» Grupo de Trabajo de Automatización Integrada. ULA. USB. UDO., 2001.
- [5] ISO/OSI. Industrial automation systems and integration -- Product data representation and exchange -- Part 42: Integrated generic resources: Geometric and topological representation. 1994.
- [6] ISA. ANSI/ISA-88.01-1995 Batch Control Part 1: Models and Terminology (Formerly ANSI/ISA-S88.01-1995). ISA, 1995.
- [7] ISA. ANSI/ISA-95.00.01-2000 Enterprise-Control System Integration Part 1: Models and Terminology. ISA, 2000.
- [8] Litchicum, David. Next Generation Application Integration. From Simple Information to Web Services. Addison Wesley Information Technology Series, 2004.
- [9] NASA. Jet Propulsion Laboratory. California Institute of Technology. *SWEET Ontologies*. 2009. <http://sweet.jpl.nasa.gov/ontology/>.
- [10] POSC. "Integrated Operations in the High North." 2009. <https://www.posccaesar.org/wiki/IOHN>.
- [11] POSC. "Oil & Gas Ontology." <https://www.posccaesar.org/wiki/PCA/IO/OilAndGasOntology>.
- [12] POSC. "Reference Architecture PRODML 1.0. ." 2006. [www.prodml.org](http://www.prodml.org).
- [13] POSC. "WITSML Data Schema Overview." 2003-2006.
- [14] PSLX Consortium. PSLX Consortium Planning & Scheduling Language on XML Specification. 2005. <http://www.pslx.org/en/>.
- [15] Soma, R., A. Bakshi, V. Prassanna, W. DaSie, y B. Bourgeois. «Semantic Web Technologies for Smart Oilfiled Applications.» *2008 SPE Intelligent Energy Conference & Exhibition*. Amsterdam, 2008.
- [16] Stanford University. *Protégé*. 2009. <http://protege.stanford.edu/>
- [17] Wins, J. Architecture for Holonic Manufacturing Systems: The Key to Support Evolution and Reconfiguration. Leuven: K.P Leuven PMA Division, 1999.
- [18] World Batch Forum. "B2MML: Business to Manufacturing Markup Language. Releases Notes." June 2004. [www.wbf.org](http://www.wbf.org).
- [19] W3C. Extensible Markup Language. 1996 – 2003. [www.w3c.org/xml](http://www.w3c.org/xml).