

# The Development of an Ontology in Agreement (AS IN ALLIGNED W?) with the Paradigm of Holonic Systems in Manufacturing

Isaías Simón-Marmolejo<sup>1</sup>, Omar López-Ortega<sup>2</sup> y Luis Enrique Ramos-Velasco<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centro de Tecnología Avanzada, CIATEQ, México, [isaias.simn@gmail.com](mailto:isaias.simn@gmail.com)

<sup>2</sup> Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México, [lopezo@uaeh.edu.mx](mailto:lopezo@uaeh.edu.mx), [lramos@uaeh.edu.mx](mailto:lramos@uaeh.edu.mx)

**Abstract-** To be able to appreciate how a Holon is an autonomous block and a partner in a manufacturing system for the transformation, transport, warehousing and/or the validation of the information or physical objects, it is necessary to have an overall view and a complete ontology. That is to say, an ontology where the Holon block is capable of reflecting the fact that its distinct manufacturing units act in an autonomous, cooperative, and self-organizing fashion and re-configurable manner. This paper describes the importance of a unified Holon for manufacturing systems in line with the HOLON paradigm as a functional framework in a manufacturing system. The paper's objective is to illustrate the latest advances in the development of a reusable scalable ontology respecting the specifications of the international standards of intelligent agents. The proposed ontology is nurtured of a set of criteria, knowledge and existing rules within manufacturing systems which are comparable to a series of published ontologies – directly or indirectly – in research based scholarly articles similar to this one.

**Keywords--** *Manufacturing Systems, Ontology, Multiple Agent Systems, Holonic Manufacturing Systems*

Digital Object Identifier (DOI): <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2016.1.1.328>

ISBN: 978-0-9822896-9-3

ISSN: 2414-6390

14<sup>th</sup> LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: “Engineering Innovations for Global Sustainability”, 20-22 July 2016, San José, Costa Rica.

# Desarrollo de una Ontología de Acuerdo con el Paradigma de Sistemas Holónicos de Manufactura

Isaías Simón-Marmolejo<sup>1</sup>, Omar López-Ortega<sup>2</sup> y Luis Enrique Ramos-Velasco<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centro de Tecnología Avanzada, CIATEQ, México, isaías.simn@gmail.com

<sup>2</sup> Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México, lopezo@uaeh.edu.mx, lramos@uaeh.edu.mx

*Abstract— Con la finalidad de apreciar cómo un holón es un bloque autónomo y cooperativo de un sistema de manufactura para la transformación, transporte, almacenamiento y/o validación de la información u objetos físicos, es necesaria una base del conocimiento universal y una ontología completa. Es decir, una ontología donde el bloque de un holón sea capaz de reflejar el hecho de que las distintas unidades de manufactura se comporten de una manera autónoma, cooperativa, auto-organizada y reconfigurable. Este trabajo, describe la importancia de una ontología unificada para los sistemas de manufactura de acuerdo con el paradigma holónico como un marco funcional en un sistema de manufactura. El artículo tiene el objetivo de ilustrar los avances en el desarrollo de una ontología reutilizable y escalable, respetando plenamente las especificaciones de la normatividad internacional de agentes inteligentes. La ontología propuesta se nutre de un conjunto de criterios, conocimiento y reglas existentes dentro de los sistemas de manufactura, y se confronta con una serie de ontologías publicadas de manera directa o indirecta en artículos de investigación semejantes.*

*Keywords—Sistemas de manufactura, ontología, sistemas de múltiples agentes, sistemas holónicos de manufactura.*

## I. INTRODUCCIÓN

El éxito de una empresa ya no se mide por su capacidad para producir un único producto a un coste eficaz, sino más bien se hace referencia a su flexibilidad, agilidad y versatilidad [1].

Es por esto que actualmente para que un sistema de manufactura sea competitivo en el mercado bajo estas consideraciones, deberá adoptar características y estrategias globales que vayan desde las funciones de diseño hasta el envío del producto, que impliquen integración de la empresa, organización distribuida, entornos heterogéneos, interoperabilidad, estructura abierta y dinámica, cooperación, agilidad, escalabilidad, flexibilidad, calidad, tolerancia a fallos, adaptabilidad a los cambios del entorno y robustez contra la ocurrencia de disturbios, mismas que se han convertido en la clave del éxito en muchas organizaciones [2, 3, 4].

Las tendencias antes mencionadas son punto relevantes en la investigación a nivel mundial tanto en el sector académico como el industrial. En este sentido en la referencia [5] se menciona que nuevos métodos de fabricación están surgiendo hacia sistemas de manufactura totalmente automatizados y no tripulados, que podría ser muy flexible, reconfigurable, reutilizable, e interoperables, así como autónomos e inteligentes considerados como una de las formas útiles de tratar con las expectativas del cliente. Uno de estos

enfoques que permitan una mejor gestión de la producción en los aspectos tocantes es el concepto de sistemas holónicos [6].

El desarrollo del concepto Sistemas Holónicos de Manufactura (Holonc Manufacturing Systems, HMS) es guiado por métodos y principios de ingeniería de software, con lo que se hace latente la necesidad en la gestión de datos, información y conocimiento: los datos en su mayoría son estructurados de acuerdo con modelos de datos, en los sistemas holónicos los datos son contenidos en ontologías propias, lo que conlleva a la consistencia de problemas en el intercambio. El uso de estándares internacionales es una buena manera de mejorar la calidad de los sistemas de información utilizados en la gestión de la producción, ya que facilitan la interoperabilidad de las herramientas de software utilizadas [7]. De igual manera, las ontologías también contribuyen a la integración del proceso de producción bajo un enfoque basado en la gestión del ciclo de vida del producto.

En la literatura es posible encontrar algunos documentos referentes a ontologías en el dominio de sistemas de manufactura con un protocolo de holones, sin embargo, a pesar de haberse postulado como ontologías realmente eficientes, los modelos de información propuestos sólo han sido parcialmente validados, el vocabulario utilizado no se define de la misma manera pese a que los términos utilizados son los mismos, además de que la normatividad (International Standard, IS) ha alcanzado recientemente niveles más elevados, con lo que pocas aplicaciones se han desarrollado hasta ahora, y sólo a un nivel de ejecución parcial: así, los enfoques basados en ontologías unificadas sigue siendo necesario para encontrar la "esencia" común de la información que se maneja, para poder ser integrados en las interfaces de software, lo que hará más fácil la transmisión a niveles más elevados en la semántica de los intercambios.

En este artículo se discuten los conceptos genéricos de los sistemas de manufactura y se presenta los avances en el desarrollo de una ontología unificada para el intercambio de datos empleados dentro de un sistema holónico.

## II. SISTEMAS HOLÓNICOS DE MANUFACTURA

Los principios que dan sustento a los sistemas holónicos genéricos se propusieron por primera vez por [8], sin embargo, hoy en día el concepto está siendo reiterado por investigadores concerniente a manufactura inteligente, definida cada unidad de fabricación como diferentes holones que pueden utilizar distintos tipos de conocimiento.

Digital Object Identifier (DOI): <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2016.1.1.328>

ISBN: 978-0-9822896-9-3

ISSN: 2414-6390

### A. Conceptos de holones

El concepto holónico se originó a partir de la obra del autor y filósofo húngaro Arthur Koestler quien intentó capturar el comportamiento de los sistemas complejos, considerando sus entidades constitutivas de ser tanto totalidades y partes al mismo tiempo [8], para describir una unidad básica de la organización en los sistemas biológicos y sociales, Koestler inventó la palabra "holón", que viene de la combinación de la palabra griega "holo" que significa todo o entero, y del sufijo "on" que expresa una parte o una partícula, donde como integrantes de una organización social, los holones se comportan "en parte como totalidades y completamente como partes", según la manera en que se observen, Koestler también propuso el concepto de Open-Ended Hierarchy (OEH) o Jerarquía Indefinida como una arquitectura formada de holones, llamada holarquía [9]. El concepto evolucionó de holón, holarquía a fabricación holónica y con los años a HMS mismo que a la fecha es un importante avance en el campo del control descentralizado para los Sistemas Inteligentes de Manufactura (Intelligent Manufacturing Systems, IMS) [2].

En este entendido, un HMS es un paradigma que traduce los conceptos de los organismos vivos para las organizaciones sociales, el cuales combinan auto-organización, jerarquías dinámicas y relaciones horizontales de un sistema de manufactura en particular y es constituido por estructuras autónomas llamadas holones, mismas que como se dijo, son capaces de trabajar bajo el control de los demás, así como independiente de los demás.

### B. Arquitecturas holónicas

Actualmente en la literatura es posible encontrar muchas arquitecturas propuestas con esta orientación. Enfoque Holónico [2], PROSA [10], AMS-HA [11], ADACOR [12], ADACOR<sup>2</sup> [13], A2CM [14], entre otras. Dichos documentos muestra una síntesis de arquitecturas concebidas en los últimos años; los holones básicos usados, el tipo de control empleado, técnica tomadas en caso de perturbaciones del sistema, la tecnología empleada en la construcción del modelo y el nivel de implementación alcanzado.

Después de hacer una revisión los artículos relacionados antes citada, fue evidente denotar que pocas arquitecturas exponen detalle de como los diferentes holones se comunican y comparte conocimiento, es decir, se carece de información respecto a la base de conocimiento y las ontologías empleadas, además de que en cada arquitectura se hace uso de su propia terminología.

## III. SISTEMAS DE MÚLTIPLES AGENTES

### A. Agentes

Las técnicas de Inteligencia Artificial (Artificial Intelligence, AI) se han utilizado en la manufactura inteligente durante más de veinte años [15]. Sin embargo, los recientes desarrollos en sistemas de agentes múltiples en el dominio de la inteligencia artificial distribuida han dado lugar a nuevas e interesantes posibilidades [1].

Ejemplo de ellos son las arquitecturas: PROSA, ADACOR, ADACOR<sup>2</sup>, entre otras, mismas que utilizan la tecnología de Sistemas de Múltiples Agentes (Multi-Agent Systems, MAS) mediante un sistema middleware totalmente distribuido de nombre JADE (Java Agent DEvelopment framework). De esta manera y dado que JADE es la tecnología software de MAS, ampliamente aceptada por la comunidad de sistema holónicos [16], los principales proyectos de investigación en el tema han recurrido a esta plataforma en intención de proporcionar un entorno de ejecución para agentes abstractos. Con ello, es posible la implementación de distintos tipos de holones como agentes JADE, usando para ello la clase Agent proporcionada para tal efecto y acorde con las especificaciones de la FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agents), además de una serie de librerías JAVA que facilitan implementar los principales componentes de los agentes: los comportamientos y las interacciones [2]. Así, esta clase de agentes abstractos, que tiene ya implementadas las funcionalidades básicas de los agentes (búsqueda de otros agentes, comunicación, gestión de comportamientos, gestión de la línea de espera de mensajes, etc.), constituyen un sistema de múltiples agentes que interactúan para resolver los problemas que están más allá de las capacidades individuales y el conocimiento individual de cada agente abstracto extendiéndose para crear las clases que representan cada tipo holón de un sistema de manufactura (holones producto, tarea, operación, recurso, etc.), añadiendo en cada caso los comportamientos e interacciones descritos en el apartado anterior.

### B. Comunicación entre agentes

JADE proporciona tres formas distintas de llevar a cabo la comunicación entre agentes [17]:

- 1) La forma más básica es utilizar cadenas para representar el contenido de los mensajes.
- 2) Otra forma es utilizar objetos serializables de Java, que transmitirían directamente el contenido de los mensajes.
- 3) El tercer método consistiría en definir los objetos que van a ser transferidos como extensión de las clases predefinidas por JADE que pueden codificar/decodificar los mensajes a un formato FIPA estándar. Esto permite que los agentes de JADE puedan interoperar con otros sistemas de agentes.

Una ontología en JADE, se define de forma que los agentes se comuniquen utilizando el tercer método descrito. El soporte JADE para ontologías incluye las clases para trabajar con éstas y con los lenguajes de contenido:

- Los lenguajes de contenido tienen que ver con la representación interna del contenido de los mensajes ACL (Agent Communication Language).
- Las ontologías tienen que ver con la semántica de los mensajes que se intercambian y su chequeo.

### C. En resumen

En el entendido de que los sistemas de múltiples agentes, son la única plataforma identificada como la herramienta de modelado para el desarrollo de sistemas holónicos, una ontología unificada deberá estar diseñada para la interpretación de los agentes, la cual debe ser generalizada en lo posible con el intercambio y procesamiento de información de las ordenes, productos, planes de producción, pedidos, programas de producción, operaciones, negociación, colaboración, acuerdos, entre otros, para lograr una comunicación eficaz entre los agentes de MAS.

Así, las características de autonomía, cooperación, reactividad y proactividad de los agentes harán de una organización de agentes o arquitectura MAS una herramienta adecuada para aplicar los conceptos de HMS [18].

## IV. CONCEPTOS TÉCNICOS SOBRE ONTOLOGÍAS

### A. Definición de ontologías

En [19], se enuncia que una ontología es una antigua disciplina que en sentido filosófico, se define como un esquema específico de categorías que refleja una visión específica del mundo. Desde el punto de vista informático, ontologías son teorías que especifican un vocabulario relativo a un cierto dominio, este vocabulario define entidades, clases, propiedades, predicados, funciones y las relaciones entre estos componentes. Las ontologías toman un papel clave en la resolución de interoperabilidad semántica entre sistemas de información y su uso.

Por su parte, la Real Academia Española (RAE) define el término ontología como la “parte de la metafísica que trata del ser en general y de sus propiedades trascendentales”. Sin embargo, en el campo de la informática, “no ha de ser considerada como una entidad natural que se descubre sino como un recurso artificial que se crea” [17, 20].

La referencia [21] describe el tema de la ontología como: “El estudio de las categorías de las cosas que existen o puedan existir en algún dominio, el producto de un estudio de este tipo, es llamado ontología”. Así mismo se enuncia que, una lógica no interpretada es ontológicamente neutral: ninguna restricción se impone sobre el tema o la forma en que el sujeto se caracteriza, por sí misma, la lógica no dice nada de nada, pero la combinación de la lógica con una ontología proporciona un lenguaje que puede expresar relaciones sobre las entidades en el dominio de interés.

Según el documento Web Ontology Language (OWL) de la W3C [22], se indica que: “Una ontología define los términos utilizados para describir y representar un área de conocimiento. Las ontologías son utilizadas por personas, bases de datos y aplicaciones que necesitan compartir información de dominio (un dominio es simplemente un tema específico o área del conocimiento, como la medicina, la fabricación de herramientas, bienes raíces, reparación de automóviles, la gestión financiera, etc.)”. Las ontologías incluyen definiciones de conceptos básicos del dominio y las

relaciones entre ellos. Codifican el conocimiento de un dominio y también el conocimiento que extienden los dominios. De esta manera, logran que el conocimiento sea reutilizable.

Otra definición de ontología en la informática es la dada por [23], quien define una ontología como “Una especificación explícita de una conceptualización, es decir, que proporciona una estructura y contenidos de forma explícita que codifica las reglas implícitas de una parte de la realidad; estas declaraciones explícitas son independientes del fin y del dominio de la aplicación en el que se usarán o reutilizarán sus definiciones”.

De esta manera, la palabra ontología se ha utilizado para describir sistemas con diferentes grados de estructura. Estos van desde las taxonomías simples, a los esquemas de metadatos, hasta teorías lógicas [22].

### B. Ventajas de una ontología

Puesto que sus bondades son amplias, aquí se dan algunos ejemplos [19]:

1. Las ontologías favorecen la comunicación entre personas, organizaciones y aplicaciones porque proporcionan una comprensión común de un dominio, de modo que se eliminan confusiones conceptuales y terminológicas, ya que los problemas derivados de la falta de comprensión común entre personas revisten una gran importancia en la ciencia y en la tecnología.

2. Construyendo una ontología común para campos semejantes (por ejemplo; Inteligencia Artificial, la Teoría de Decisiones y la Teoría de Sistemas Distribuidos), las investigaciones de un campo serían inmediatamente aplicables a los otros, usando perspectivas y términos semejantes para las mismas ideas y conceptos.

3. En los sistemas de manufactura, mediante las ontologías, se favorece la gestión de contenidos, la integración de la cadena de suministro y de la cadena de valor así como la estandarización de la información de los mercados electrónicos (e-marketplaces).

En pocas palabras, “el corazón de un sistema MHS eficaz es la ontología” puesto que provee un núcleo de información de la lógica de operaciones necesarias en las distintas fases del ciclo de producción de un modelo de producto apoyado por el soporte de decisiones que tomen los agentes involucrados.

En el caso particular de esta investigación, las ontologías sirven para conseguir que los sistemas sean interoperables. Dos o más sistemas son interoperables si pueden trabajar conjuntamente de una forma automática, sin esfuerzo por parte del usuario. Por ejemplo un holón producto con un holón recurso para consultarse las operaciones necesarias de un producto específico y la disponibilidad de un maquinado necesario a cada operación. En el campo de la informática, será preferentemente usar un mismo lenguaje de programación para lograr interoperabilidad entre ambos holones, y evitar ontologías que sirvan como traductor entre los términos usados por una aplicación y otra.

## V. ONTOLOGÍAS EN HMS

La arquitectura de ADACOR referenciada en [24], es a nivel de planta y en sistemas de manufactura flexibles, especialmente organizados en la producción tipo job shop, que es caracterizado por procesos concurrentes y asíncronos con operaciones no preventivas y rutas alternativas.

De los argumentos dados, se deduce que la arquitectura de HMS llamada ADACOR presenta una ontología que reúne aspectos holónicos y de manufactura, y que a pesar de hacer una amplia investigación respecto a ontologías, sistemas inteligentes y HMS, el documento carece de formalismo y explicitos con lo que resulta difícil inferir conocimiento respecto a axiomas.

En el trabajo dado por [25] se presenta la ontología de una red de manufactura en el marco de la arquitectura Product Resource Order Staff Architecture (PROSA). El documento pone de relieve los conceptos y slots que constituyen a la ontología y el conocimiento base de la propuesta, con un conjunto de reglas que permite la selección de los recursos para la fabricación de un producto. Sin embargo, utiliza nombres de términos no estandarizados lo que hace confusa la comprensión los conceptos, no describe los conceptos necesarios en casos de emergencia o perturbaciones, así como de la reconfiguración del sistema.

Por otro lado, en la referencia [26], se hace una conjetura entre elementos de una ontología (conceptos, atributos y relaciones), agrupados en lo relativos a Esquemas Preconceuales (EP) y al tema HMS. El objetivo de este trabajo es concebir un mecanismo automático que permita a los analistas acercarse a la implementación de HMS en una organización, representando sus procesos con EP e instanciándolos en una ontología propuesta. En este caso, la ontología definida permite detectar conceptos holónicos en una organización e identifica los holones principales que están implícitos en los procesos de producción. Sin embargo, este trabajo se enfoca en listar y explica brevemente los elementos de la ontología propuesta (conceptos, atributos y relaciones), sin describir por completo una ontología de HMS, es decir no hace hincapié respecto a cómo estos conceptos injieren sobre holones característicos.

Así mismo, también existen documentos donde se describe el proceso mediante el cual se creó una ontología de aplicación para los HMS basados en la Unidad de Producción (UP) o HMS-UP, como es el caso de la referencia [27]. El artículo intentan describir las facetas necesarias para crear una ontología, sin embargo, no se definen de manera clara y precisa, cada uno de los términos, conceptos y relaciones necesarias para integrar un sistema de manufactura desde el enfoque holónico, no hay evidencia de tecnología computacional en el diseño de la misma y tampoco se muestran resultados.

En la Tabla I se muestran si la ontología propuesta contiene abundantes, mínimas o ninguna aportación respecto a: conceptos, predicados, atributos, relaciones taxonómicas axiomas y tipos de holones o agentes empleados, temas

necesarios en la clasificación derivada del protocolo de lenguaje ACL definido en la FIPA, el cual requiere que el contenido de cada ACLMessage tenga una semántica adecuados de acuerdo con la performative de un ACLMessage.

TABLA I  
PROPUESTAS DE ONTOLOGÍAS REVISADAS

Ontología	Conceptos	Predicados	Relaciones taxonómicas	Axiomas	Holones/Agentes
ADACOR [24]	√	√√	—	—	√√
Holonic Manufacturing Networks [25]	√√	√	—	—	√√
EP [26]	√√	√	—	—	—
HMS-UP [27]	√√	—	√	√	√
EO [29]	√	√	√	√	—
MASON [33]	√	—	√	—	√

√√ Se dan abundantes aportaciones al tema.

√ Se dan mínimas aportaciones al tema.

— No se dan aportaciones al tema.

Si el lector hiciese una revisión de las propiedades terminológicas y contextos presentados por los diferentes autores de la TABLA I, notaría que estos varían según se define en cada proyecto ontológico, además de qué se limita a las relaciones simples entre los componentes de manufactura. Con lo que se sobresalta la necesidad de una ontología unificada, que se sustente partiendo de una metodología dada en los principios de ingeniería de software.

## VI. DESARROLLO DE UNA ONTOLOGÍA UNIFICADA

En la literatura se hallan diferentes metodologías para la creación de ontologías las cuales se han desarrollado en los últimos 20 años, tal es el caso de: Methontology [28], Uschold and King's Ontology [29], Development 101 [30], entre otras. Este documento hace uso de una adaptación a la metodología "Methontology" dada por [31].

Methontology es una metodología creada en el Laboratorio de Inteligencia Artificial de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) para la construcción de ontologías ya sea partiendo de cero, la reutilización de ontologías como es el caso de la presente investigación, o como parte de un proceso de reingeniería de alguna ya existente. Las bases de dicha metodología son actividades del desarrollo de software propuesto por la organización IEEE y algunas otras metodologías de conocimientos [31].

El objetivo de la metodología es permitir crear una ontología desde unos pocos requisitos iniciales, iniciando desde lo más general hasta lo más específico [27, 31, 32]. La Fig. 1, describe las fases de desarrollo de la ontología unificada en diferentes niveles de conocimiento, a esto se le denomina "Ciclo de vida de la ontología". La metodología se subdivide en tres fases: actividades de gestión, actividades de desarrollo y actividades de apoyo, y en cada una de estas actividades se identifican diferentes tareas que deben ser realizadas en distintas fases. Para mayor información respecto a la metodología, consulte la referencia [31].

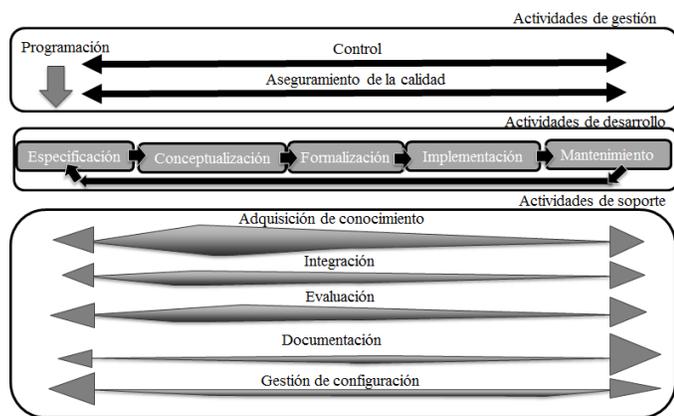


Fig. 1 Ciclo de vida de la ontología: Methontology [31].

### A. Desarrollo de actividades

Respecto al proceso de construcción, el primer paso se da al iniciar con la especificación de la ontología. Para este caso la cobertura de la presente ontología será en dominio de manufactura bajo el enfoque de HMS. El propósito de ésta, es describir la dinámica en el dominio, facilitando la rápida comprensión del modelo por los actores (agentes inteligentes), para que los mismos hagan uso coherente de la información dada y está sea reproducible en el control de IMS.

Aquí, las especificaciones de la ontología se vinculan a la capacidad para describir y almacenar el conocimiento, donde los aspectos tratados: usabilidad, accesibilidad, interoperabilidad (lo que implica la normalización), modularidad, extensibilidad y univocidad, han sido temas discutidos por los autores.

Como un segundo paso, en la conceptualización se implica el hecho de investigar, depurar y formular el amplio conocimiento del sistema de manufactura con la finalidad de identificar, agrupar y describir conceptos de un modo sistemático, y de manera independiente al contexto del dominio tratado (es decir, los conceptos comunes a toda ontología de orden superior, que podría ser escrito en este dominio, por ejemplo: productos, recursos, operaciones, entre otros) para elaborar una ontología superior.

En este orden de ideas, una ontología se puede clasificar bajo dos propósitos; ontologías de orden superior y ontologías de orden específico.

Las ontologías de orden superior incluyen: conceptos básicos, taxonomías y relaciones de conceptos. Su propósito es permitir que las ontologías específicas se puedan integrar de manera fluida a la misma arquitectura cognitiva común, lo que permite la distribución efectiva del modelo de datos entre entornos heterogéneos (distintos modelos de productos dentro del mismo concepto producto, etc.). Las ontologías de orden superior son la prioridad y el marco de preocupaciones de las ontologías, esto es conocido como el problema de alineación de ontologías, o problema de integración de ontologías [33].

Por otro lado, las ontologías integran conceptos a diferentes niveles; a los primeros grupos de conceptos de

primero orden se les agregan sub-clases (conceptos de segundo orden), seguido a esto axiomas y finalmente restricciones, las cuales brindan la posibilidad de inferir conocimiento, a esto se le conoce como conceptos de tercer orden.

En el documento presentado, se muestran los conceptos, taxonomías y relaciones de la ontología de orden superior, y se dan ejemplos de ontologías de orden específico. Los componentes ontológicos son mapeados en un conjunto de objetos, mismos que se ilustrarán en diagramas de clases AUML (Agent Unified Modelling Language), que es una extensión de los diagramas de clase UML (Unified Modelling Language). La Tabla II muestra los diferentes tipos de relaciones de asociación entre los diferentes conceptos.

TABLA II  
TIPOS DE RELACIONES DE LOS CONCEPTOS DE LA ONTOLOGÍA CON RECURSOS DEL DOMINIO MANUFACTURA

Relación	Asociación	Descripción
Agregación		La clase 2 es un objeto de agregación de la clase 1. Por ejemplo: las órdenes de trabajo son parte de la orden de producción.
Asociación		Relación estructural bidireccional que describe una conexión entre objetos de ambas clases que colaboran entre sí.
Herencia		Relación entre una superclases y sus clases. Por ejemplo: el recurso de movimiento hereda los métodos y atributos especificados por el recurso flexible.

### B. Taxonomía de conceptos de primer orden y sus relaciones

En la Fig. 2 se muestra la identificación de las clases *Producto*, *Orden*, *Operación*, *Recursos*, *Agentes* y *Estado* de la superclase *AdministraciónPlanta*, organizados taxonómicamente según sea el caso. El formalismo de la estructura que integra esta clasificación se hace partiendo de ontologías existentes y está ligada a la propuesta “Extended Enterprise” dada por la referencia [34], la cual fue desarrollado con el fin de integrar modelos de datos EXPRESS estandarizados bajo tres normas ISO (ISO 10303, ISO 15531 e ISO 13584, conocido como STEP, MANDATE y PLIB, respectivamente) cuyos objetivos son el intercambio de datos mediante una notación abstracta, para este caso intercambio de datos respecto al ciclo de vida de un producto entre holones.

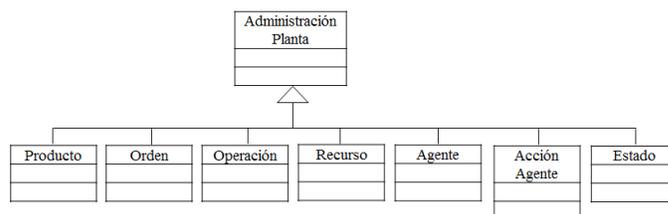


Fig. 2 Conceptos de primer orden de la ontología.

De esta manera, la superclase *AdministraciónPlanta* tiene conceptos que dan conocimientos de los indicadores de

productividad. Una *Perturbación* tiene datos de la gama de perturbaciones que pudieran afectar al sistema, sus causas e impactos posibles. Un *Producto* contiene datos de la producción, tales como lista de materiales, componentes, ensambles etc. La *Orden* posee datos de asociación entre los diferentes tipos de órdenes que capturan el aspecto logístico de la producción como: tiempos fijos, la cantidad y los recursos contratados. La clase *Operación* administra datos de los métodos y proceso de producción, además de que captura el tipo de operación y la descripción técnica del funcionamiento. El *Recurso* representan la capacidad y los registros históricos de funcionamiento, rendimiento, orden y producto. La clase *Agente* captura el AID y las distintas subclases de los holones para cambiar su entorno interno y afectar el externo si es necesario. *Estado* es la información que describe el estatus de los distintos conceptos de primer orden y de conceptos de orden inferior en un instante particular del tiempo.

### C. Taxonomía de conceptos de segundo orden

A manera de ejemplo en la Fig. 3 se proponen cuatro holones básicos y seis complementarios como concepto de segundo orden de la clase *Agente* (Fig. 2). En entornos de manufactura distribuida, cada holón es autónoma y tiene conocimiento parcial del sistema, y el control holónico sobre los sistemas de manufactura surge, como un todo integrado, de la interacción entre los holones distribuidos, donde cada uno de estos contribuye con su conocimiento local.

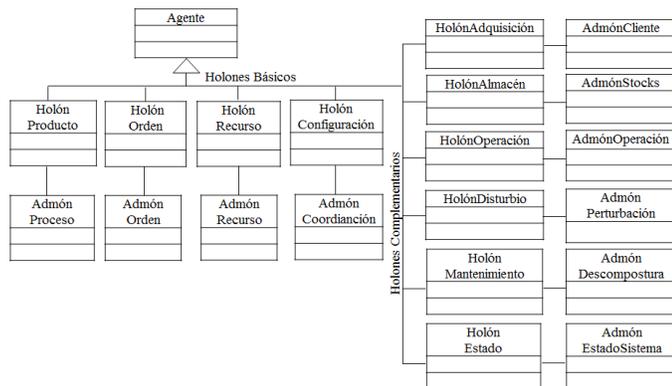


Fig. 3 Tipos de holones básicos y complementarios.

Las principales acciones de los holones básicos se describen como sigue:

#### Holón Producto

- Recibe y administra órdenes del cliente.
- Diseño y rediseño modular del producto.
- Planea y (re)planea el plan de producción.
- Verifica la calidad.
- Intercambia información del producto y del plan de producción con el holón operación.
- Interactúa indirectamente con los holones orden, operación y coordinador durante la elaboración de planes de producción con holones recurso alternativos.

- Supervisa la tardanza, el progreso y el estado de un producto.

#### Holón Orden

- Recibe órdenes de producción.
- Administra la lista de operaciones pendientes.
- Crea y envía propuestas de órdenes de trabajo.
- Resuelve los conflictos entre los holones orden que requieren el mismo recurso.
- Formaliza un contrato entre un holón recurso y un holón producto mediante un acuerdo de la orden de trabajo.
- Programa, configura y monitorea acuerdos de trabajo con holones recurso.
- Supervisa la tardanza, el progreso y el estado de una orden de trabajo.
- Tiene la facultad de anula el acuerdo con un recurso.
- Revaloriza al holón recurso por el cumplimiento correcto de una orden de trabajo
- Penaliza al recurso por incumplimiento de contrato de orden de trabajo.

#### Holón Recurso

- Selecciona una propuesta de orden de trabajo la cual incluye una o más operación.
- Tiene conocimiento de las capacidades del recurso físico.
- Inicia y controla el procesamiento de una orden de trabajo.
- Tiene facultades para controlar la producción de sub-recursos.
- Administra el plan y ejecución de mantenimiento.
- Se auto-examina y examina a sub-recursos.
- Tiene conocimiento de los tiempos de proceso, movimiento, transporte y almacén de un recurso para el cálculo de la fecha entrega.
- Programa la ejecución.
- Comunica acuerdo de ejecución a cada holón orden.
- Solicita ejecución a máquina física.
- Indica que el recurso físico ha iniciado el proceso de una orden de trabajo.
- Informa fin de ejecución de operaciones.
- Indica el estado del holón recurso.
- Percibe y reporta perturbaciones afectivas al recurso físico.

#### Holón Configuración

- Propone al holón operación la ejecución de operaciones de manera optimizada e intercambian información relacionada con la asignación de recursos y del control de ejecución de dichas operaciones.
- Responsable de la configuración del plan de proceso.
- Generar la programación global del sistema de manufactura.
- Evalúa el costo de (re)configuración de la holarquía.
- Ajusta la configuración (insuficiencia o falla de recursos).
- Responsable de la negociación.
- Está a cargo de resolver los conflictos derivados de una perturbación reportada.

Subsecuentemente y de manera general se da al lector una visión deliberada de la interacción entre los distintos holones según la acción que estos ejercen. En un principio, un sistema de manufactura holónico sólo se compone de un conjunto de holones recurso, no organizados que conforman a un holón configuración. A la llegada de una orden del cliente, el holón configuración crea un holón producto y a su vez un holón orden que empiezan a negociar con los holones recurso la prestación de determinadas ordenes de producción. Durante el proceso de negociación, el holón orden exige propiedades específicas de la tarea u operación por realizar, tales como calidad o rendimiento, mientras que los holones recurso tratan de maximizar su utilización. Al final de la negociación, los holones recurso se organizan para configurar y formar la línea de producción necesaria.

Seguido a esto, holones producto entran en la holarquía de manufactura y negocian de inmediato recursos físicos con el fin de conseguir ser procesados. Una vez que estas operaciones se han realizado en un recurso físico, la pieza de trabajo reinicia la negociación con las (próximas) operaciones restantes. Del mismo modo que la estructura ADACOR<sup>2</sup> en estado estacionario, los holones están organizados en una estructura jerárquica, la actividad general del holón configuración juegan el papel de coordinación y optimizan la programación de sus subordinados organizados en grupos, su trabajo es mantener una negociación permanente entre holones orden y holones recurso asegurando que la carga de holones producto se distribuyan de manera eficiente en los recursos físicos disponibles para alcanzar los objetivos globales de esta holarquía. El sistema funciona con forme a esta configuración hasta que se detecta una perturbación. Si un holón recurso detecta la perturbación en un recurso físico, éste detecta primeramente el problema e intenta reorganizar al recurso físico a nivel local mediante la realización de un autodiagnóstico, si la recuperación del mismo no tiene éxito, su factor de autonomía se incrementa y se propaga la necesidad de reorganización a otros holones en el sistema, compartiendo la carga de trabajo como sucede en los sistemas biológicos cuando existe un daño, más información puede consultarse en [10, 11, 12, 13].

De esta forma, los HMS están diseñados a través de módulos autónomos, cooperativas e inteligentes capaces de reconfigurar los sistemas de manufactura de forma automática en respuesta a nuevos requerimientos del sistema o cambios ambientales del mismo, tales como perturbaciones externas que pudieran afectar el comportamiento de las máquinas.

Del mismo modo, en la Fig. 4 se representa la taxonomía de la clase *Estado* (Fig. 2) y sub-classes: *EstadoControl*, *EstadoProducto*, *EstadoOrden*, *EstadoOperación*, *EstadoRecurso*, *EstadoPerturbación* y *EstadoMantenimiento*, cuya función principal consiste en monitorear los estados bajo los que se encuentra determinado concepto de manera dinámica y actualizado en instantes del tiempo.

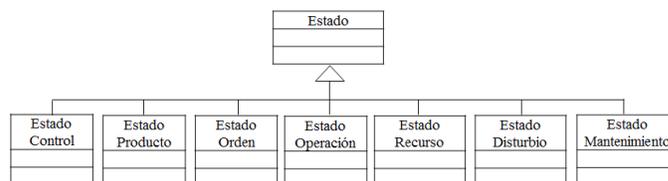


Fig. 4 Estados del sistema.

A manera de colofón, es importante notar que los distintos niveles de orden pueden ser utilizada para estructurar el tipo de producto, una orden, operaciones, planes de proceso, etc. y con ello los diferentes holones pueden representar distintos conceptos. Por ejemplo, el holón orden puede simbolizar órdenes de clientes, órdenes de producción, órdenes de trabajo e incluso órdenes de mantenimiento. Así mismo, los productos se pueden dividir en varias familias de productos y modelos los cuales se integran por materia prima, ensambles o sub-ensambles. Derivado de esto, todos estos holones especializados requieren de un comportamiento especializado, que a su vez pueda valer de diferentes enfoques de investigación y aplicación. Por ejemplo, el concepto Transporte (un Automated Guided Vehicle, AGV) requerirá de dispositivos, herramientas o calibración; mientras que el recurso Proceso (por ejemplo un torno), podría requerir de estos mismos conceptos además de suministros pero bajo otros argumentos [35]. Un último esquema que generaliza lo antes descrito es mostrado en la Fig. 5.

#### D. Taxonomía de conceptos de tercer orden o atributos de asociación

Otro aspecto de importancia son los atributos asociados a cada clase. La Fig. 6 presenta conceptos de tercer orden de la clase *Propiedades* (mostrada en la Fig. 5) donde un concepto es el atributo de otro concepto. Por ejemplo, el nombre del recurso es el atributo de la propiedad que corresponde con un recurso específico.

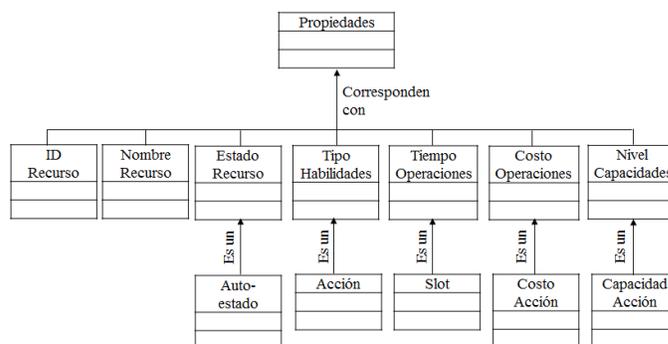


Fig. 6 Un concepto es el atributo de otro concepto.

El ejemplo de clases de atributos antes mostrado en la Fig. 6 es útil para los distintos tipos de recursos flexibles existentes en el sistema puesto que en todos son necesarios el ID, Nombre, Estado en el que se encuentra, el Tipo de habilidades de las cuales se puede disponer, entre otros. Sin embargo, pueden existir más atributos dependiendo de cada clase.

Ejemplo de esto son: Ejes, TipoProceso, Repetibilidad, VelocidadAvance, VelocidadEje, VelocidadCorto, Contrapuntos, CargaUtil, MaxAlcanzabilida, Autonomía, Capacidades, por mencionar algunos. Para el caso de la clase OrdenCliente, los atributos asociados podrían ser: NombreOrden, Calidad, FechaArribo, TiempoEntrega, etc. En la clase OrdenTrabajo sería conveniente enlistar los siguientes atributos: NombreOrden, Calidad, Precio, TiempoEntrega, ListaVerificación, etc.

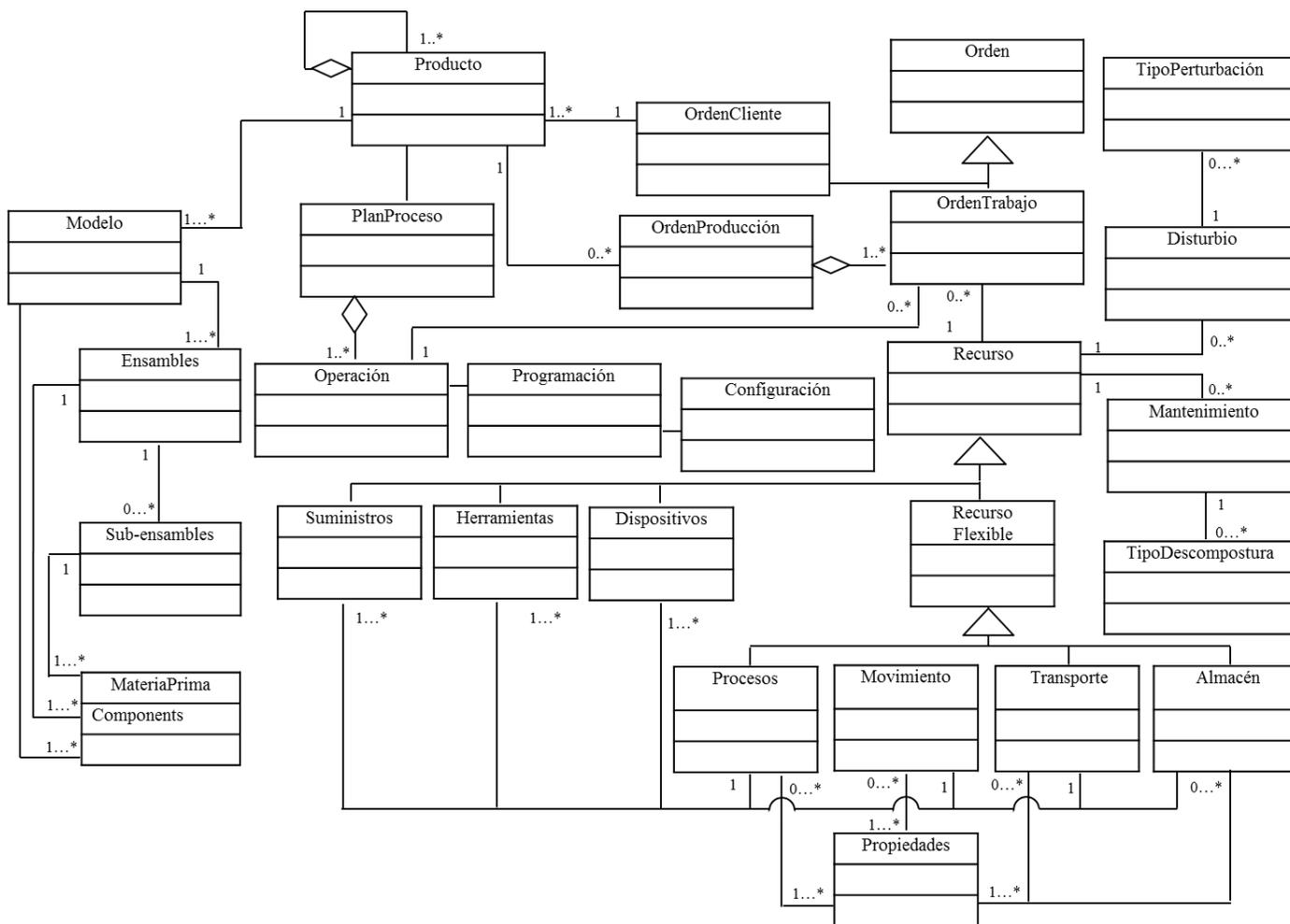


Fig. 5 Relación entre conceptos e instancias.

Como pudo observarse la variedad de atributos es alta, pero esta tarea de inferir atributos y establecer predicados a partir de las clases de conceptos dados en la presente investigación, es propia de diseñador de enfoques holónicos pues depende en gran medida del sistema de manufactura al cual pretenda aplicarse.

La sección taxonómica aquí mostrados dan una idea clara de cómo fue desarrollada la ontología de manufactura bajo el paradigma de HMS.

#### E. Programación de ontología

La propuesta de la ontología unificada se modela haciendo uso de la herramienta PROÉGÉ bajo los términos recomendados por el lenguaje Web Ontology Language (OWL) que utiliza clases para describir conceptos y predicados, y fija estos como parte de la aplicación ontológica.

La ontología OWL puede incluir los siguientes elementos [33]:

- Clases es decir, los conceptos de dominio,
- Relaciones taxonómicas entre las clases,

- Propiedades de tipo de datos es decir, los atributos de las clases,
  - Propiedades de los objetos es decir, las relaciones entre las clases (además de las taxonómicas),
  - Los individuos es decir, instancias (elementos) de las clases y propiedades,
  - Restricciones es decir, las limitaciones en las propiedades.
- La Fig. 7 ilustra una vista de esta aplicación.

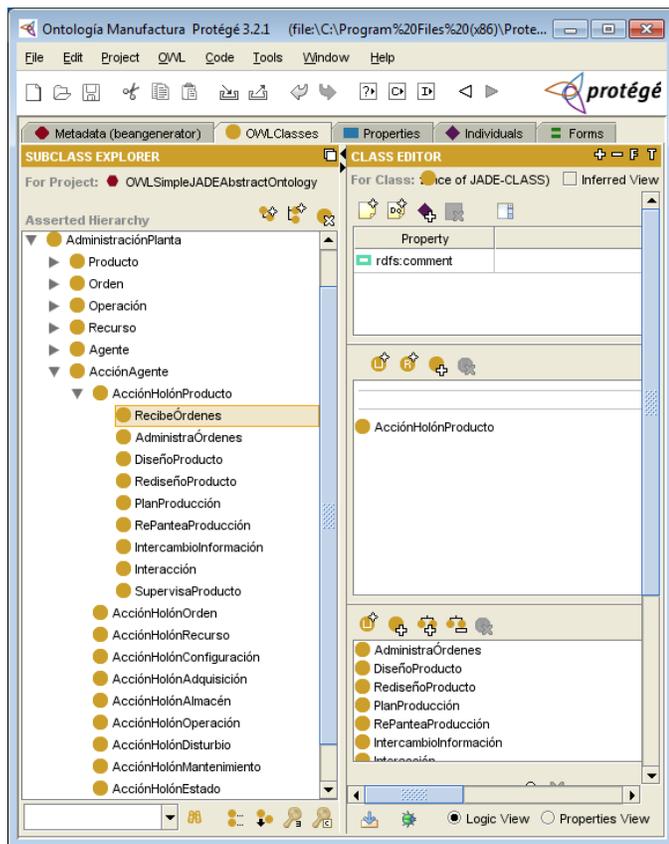


Fig. 7 Relación de conceptos, PROÉGÉ.

## VII. CONCLUSIÓN Y TRABAJOS FUTUROS

He aquí entonces la necesidad de utilizar ontologías unificadas, puesto que cada una de ellas viene dada por la complejidad inherente a las aplicaciones desarrolladas en el contexto de los MAS de cada HMS, en particular respecto a la contribución con la abundancia de comunicación entre agentes, interoperabilidad de sistemas y plataformas, y problemas semánticos.

En este entendido, las ontologías ocupan un lugar destacado dentro de los agentes inteligentes, sin embargo, lo antes mencionado requiere del dominio global que contengan los términos para describir y representar una ontología unificada de los sistemas de manufactura. La enumeración de datos, conceptos y comportamiento, expuestos en este documento no son restrictivos, o prescriptivos: el sistema no

se limita a esta enumeración, y tampoco obliga a que todo esto tienen que estar presentes en todos los sistemas holónicos. Sólo se hace una indicación descriptiva de qué tipo de datos y funciones se pueden esperar en el comportamiento de los holones.

La experiencia adquirida durante la fase de desarrollo, destacó las dificultades en la construcción de ontologías para ser utilizados por las aplicaciones de control de manufactura heterogénea. Sin embargo, los aquí presentado sólo es un avance en este amplio problema, los autores de este artículo siguen avanzando en las etapas de la metodología usada.

El problema presiona hacia la formalización, implementación y mantenimiento en intenciones de culminar el esfuerzo para construir, validar y usar la ontología propuesta.

En trabajos futuros, se hará uso de una adaptación del asignador para las ontologías OWL y el modelo interno JADE definido en la referencia [33], (véase Fig. 8).

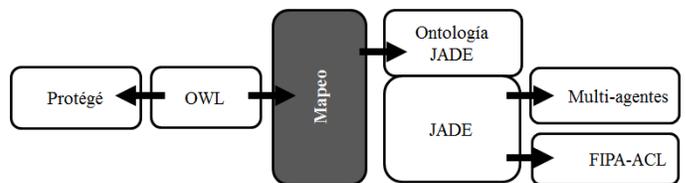


Fig. 8 Mapeo entre OWL y JADE para el modelo ontológico propuesto [33].

De esta manera, se generará una ontología con una implementación subyacente inmediata para asegurar las operaciones de lenguajes JADE entre los distintos holones (codificación, comprobación y decodificación de los mensajes).

Esta nueva ontología en un futuro será validada desde un punto de vista formal y con base teórica más sólida al ser puesta a prueba en la celda de manufactura flexible de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

## AGRADECIMIENTOS

El presente proyecto de investigación es realizado bajo la supervisión del PhD Omar López Ortega y del PhD Luis Enrique Ramos Velasco, a quienes me gustaría expresar mi más sincero agradecimiento, por su paciencia, tiempo y dedicación.

## REFERENCIAS

- [1] V. Botti, A. Giret, "Holon manufacturing systems," in *ANEMONA, A multi-agent methodology for holonic manufacturing systems*, D.T. Pham, Ed. Springer: Departamento de Sistemas Informáticos y Computación (DSIC), 2008, pp. 1–20.
- [2] J. A. Araúzoa, R. Martínez, J. J. Laviós, J.J.B. Martina, "Programación y control de sistemas de fabricación flexibles: un enfoque holónico," *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, vol. 12, pp. 58–68, 2015.
- [3] S. Nahmias, "Production and operations analysis," in *6th Revidis edition. London*, Ed. McGraw: Hill Higher Education, 2013, pp. 736.

- [4] E. Rosenzweig, G. Easton, "Tradeoffs in manufacturing? a meta analysis and critique of the literature," *Production and Operations Management*, vol. 19, no. 2, pp.127–141, 2013.
- [5] E. Oztemel, "Intelligent manufacturing systems," *Springer Series in Advanced Manufacturing*, pp. 1-41, 2010.
- [6] A. Tharumarajah, A. J. Wells, L. Nemes, "Comparison of the bionic, fractal and holonic manufacturing system concepts," *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, vol. 9, no. 3, pp. 217–226, 1996.
- [7] A. F. Cutting-Decelle, R. I. M. Young, J. J. Michel, R. Grangel, J. L. Cardinal, J. P. Bourey, "5ISO 15531 MANDATE: A product-process-resource based approach for managing modularity in production management," *Concurrent engineering: Research and Applications*, vol. 15, no. 2, pp. 217–235, 2007.
- [8] A. Koestler, "The ghost in the machine," *Arkana*, 1967, pp. 384.
- [9] R. F. Babiceanu, F. F. Chen, "Development and applications of holonic manufacturing systems: a survey," *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 17, pp. 111–131, 2006.
- [10] H. V. Brussel, J. Wyns, P. Valckenaers, L. Bongaerts, P. Peeters, "Reference architecture for holonic manufacturing systems: PROSA," *Computers in industry*. vol. 37, no. 3, pp. 255–274, 1998.
- [11] F. Wang, D. Xu, M. Tan, Z. Wan, "A holonic architecture for reconfigurable manufacturing systems," *Mechatronics Engineering Department*, pp. 905–909, 2005.
- [12] P. Leitão, F. Restivo, "ADACOR: a holonic architecture for agile and adaptive manufacturing control," *Computers in industry*. vol. 57, no. 2, pp. 121–130, 2006.
- [13] J. Barbosa, P. Leitao, E. Adam, D. Trentesaux, "Dynamic self-organization in holonic multi-agent manufacturing systems: The ADACOR evolution." *Computers in Industry*, vol. 66, pp. 99-111, 2015.
- [14] C. Indriago, O. Cardin, N. Rakoto, P. Castagna, E. Chaco'n, "H2CM: A holonic architecture for flexible hybrid control systems," *Computers in industry*, vol. 77, pp. 15–28, 2016.
- [15] W. Shen, D. H. Norrie. "Agent-Based Systems for Intelligent Manufacturing: A State-of-the-Art Survey," *Knowledge and Information Systems, an International Journal*, vol. 1, no. 2, 129–156, 1999.
- [16] P. Leitão, P. Vrba. "Recent developments and future trends of industrial Agents," *Lecture notes in computer science*, vol. 6867, pp.15-28, 2011.
- [17] Escuela Superior de Ingeniería Informática de la Universidad de Vigo, "Programación en JADE – Ontologías," 2007, última visita, 1 de diciembre de 2015 Disponible en: <https://programacionjade.wikispaces.com/Ontolog%C3%ADas>
- [18] F. B. Radu, F. F. Chen, "Development and applications of holonic manufacturing systems: a survey," *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 17, no. 1, pp. 111–131, 2006.
- [19] J. A. Guzmán, M. S. López, I. DURLEY, "Metodologías y métodos para la construcción de ontologías," *Scientia et Technica Año XVII, No 50*, Universidad Tecnológica de Pereira, 2012.
- [20] K. Mahesh, "Desarrollo ontología de traducción automática: ideología y metodología". *Nuevo México*, 1996.
- [21] J. F. Sowa, "Knowledge representation: logical, philosophical, and computational foundations," 2001, última visita, 25 de noviembre de 2015 Disponible en: <http://amine-platform.sourceforge.net/>
- [22] J. Heflin (Lehigh University), "OWL, Web ontology language, use cases and requirements," *W3C Recommendation*. 2009, última visita, 5 de diciembre de 2015. Disponible en: <http://www.w3.org/TR/2004/REC-webont-req-20040210/>
- [23] T. R. Gruber, "Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing," *International Journal of Human and Computer Studies*, vol. 43 no. (5-6), pp. 907–928, 1992.
- [24] S. Borgo, P. Leitão. "Foundations for a core ontology of manufacturing," *Ontology Handbook, Laboratory for Applied Ontology*, ISTC-CNR, via Solteri 38,38100 Trento, Italy, 2007, pp. 751–775.
- [25] G. D. Jules, M. Saadat, S. Saeidlou, "Holonic ontology and interaction protocol for manufacturing network organization," *IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics: systems*, vol. 45, no. 5, pp. 819–830, 2015.
- [26] G. Giraldo, A. S. Arboleda, G. Zapata, "Enfoque ontológico para detectar conceptos holónicos en las organizaciones," *Revista facultad de ingeniería Universidad de Antioquia*, vol. 1, no. 69, p. 53–66, 2013.
- [27] R. D. Checa, A. O. Rojas, "Ontología para los sistemas holónicos de manufactura basados en la unidad de producción," *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, vol. 1, no. 23, pp.134–141, 2014.
- [28] A. Gómez-Pérez, M. Fernández-López, A. de Vicente, "Towards a method to conceptualize domain ontologies," *Proceedings Workshop: Ontological Engineering*, pp. 41–51, 1996.
- [29] Uschold, M., et al., "The Enterprise Ontology," *The Knowledge Engineering Review*, vol 13, no. 1, pp.31–89, 1998.
- [30] N. F. Noy, D. L. McGuinness, "Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology" [online] *Stanford University, Stanford, CA, 94305, 2001* Disponible en: [http://iris.cnrs.fr/alain.mille/enseignements/Ecole\\_Centrale/What%20is%20an%20ontology%20and%20why%20we%20need%20it.htm](http://iris.cnrs.fr/alain.mille/enseignements/Ecole_Centrale/What%20is%20an%20ontology%20and%20why%20we%20need%20it.htm)
- [31] O. Corcho, M. Fernández-López, A. Gómez-Pérez, "Methodologies, tools and languages for building ontologies. Where is their meeting point?," *Data & Knowledge Engineering*, vol. 46, pp.41–64, 2003.
- [32] M. Fernández, A. Gómez-Pérez, N. Uristo, "Methontology: From ontological art towards ontological engineering," *AAAI Technical Report*. pp. 33–40, 1997.
- [33] S. Lemaignan, A. Siadat, J. Y. Dantan, A. Semenenko, "MASON: A Proposal For An Ontology Of Manufacturing Domain," *Distributed Intelligent Systems: Collective Intelligence and Its Applications (DIS'06)*. pp. 195–200, 2006.
- [34] O. López-Ortega, M. Ramírez-Hernández "A formal framework to integrate express data models in an extended enterprise context," *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 18, pp. 371–381, 2007.
- [35] O. López-Ortega, M. Ramírez-Hernández, "A STEP-based manufacturing information system to share flexible manufacturing resources data," *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 16, pp. 287–301, 2005.

**Digital Object Identifier:** (to be inserted by LACCEI).