

# MODELO HOLÓNICO DE LA INGENIERÍA DEL PRODUCTO.

**Francisco Aguayo González<sup>1</sup>, Juan R. Lama Ruiz<sup>1</sup>, Mariano Marcos Barcena<sup>2</sup>, Manuel Sánchez Carrilero<sup>2</sup>, Víctor Soltero Sánchez<sup>1</sup>, José R. Pérez Gutiérrez<sup>1</sup>**

*(1) Escuela Universitaria Politécnica de Sevilla.*

*(2) Escuela Superior de Ingeniería de Cádiz.*

## SUMMARY

The present work we formulated a holonic model of the Product Engineering, it is supported by the following holonics entities: Product Strategy, Product, Process, Design and Development Context. This model has a foundation from holonics principles proposed by Koestler and the Ashby theory of varieties. This formulation permits giving support to: Company's requests and extended and virtual product, furthermore the collaborative and distributed intelligent.

## RESUMEN

En el presente trabajo se formula un modelo holónico de la Ingeniería del Producto, soportado por las siguientes entidades holónicas: Estrategia de Producto, Producto, Proceso, Entorno de Diseño y Desarrollo. Dicho modelo se fundamenta desde los principios holónicos propuestos por Koestler y la teoría de la variedad de Ashby. Esta formulación permite dar soporte a: los requerimientos de empresa y producto extendido y virtual, así como al diseño colaborativo y distribuido inteligente.

## 1. INTRODUCCION.

La Ingeniería del Producto esta formada por el conjunto de procesos, que desplegados a partir de la Estrategia de Producto, lleva a cabo el diseño y desarrollo del producto. En el caso de que el entorno de Ingeniería del Producto soporte concurrencia, su despliegue ha de hacerse [1] desde la estrategia de cartera, línea o productos y las de paralelización, estandarización e integración de procesos.

El macroproceso empresarial de Ingeniería del Producto aparece en el contexto de las empresas que diseñan, desarrollan y comercializan productos industriales y de la empresa de diseño e ingeniería cuyas actividades se centran en diseño y desarrollo de productos, incluyendo sus prototipos rápidos, en estas últimas, es el proceso básico. Algunos de los rasgos característicos de estas empresas cuando operan en mercados globales son los de:

\*Soportar modos operacionales distribuidos geográficamente (Empresa extendida y virtual), integrando tecnología de la información basada en agentes inteligentes. Como aparece en la Figura 1.

\*Soportar la capacidad para el diseño y desarrollo de productos de la variedad requerida por el encargo o el mercado, bajo los principios de Empresa e Ingeniería Concurrente.

\*Requerir un proceso de modelado y documentación para posibilitar su puesta en funcionamiento en el menor tiempo posible y el ejercicio de la Ingeniería Adaptativa, que permita la creación de valor de forma sostenible bajo los requerimientos del mercado.



**Figura 1.** Fabricación extendida virtual.

\*Formar un todo armónico y cooperativo integrando el conjunto de procesos que constituye la empresa, desde su orientación a la estrategia de producto.

\*Estar dotada de competencias que permita la autoorganización y autooptimización, para conseguir la cobertura de objetivos del modo más eficiente desde su autonomía, bajo criterios de mínima complejidad y máxima flexibilidad.

\*Soporta un proceso de modelado y de la gestión basada en el modelo del Entorno de Ingeniería del Producto en consonancia con los marcos de modelado de la Empresa, que permita reusar la experiencia, gestionar su mejora, incorporar innovaciones y valor al producto de forma continua.

Dotar a las empresas de esto requerimientos implica dar cumplida respuesta los siguientes interrogantes:

\*¿Cuáles son los marcos de modelado de empresa, bajo los que se han de modelar y gestionar los entornos de Ingeniería del Producto?

\*¿Qué principios de modelado han de soportar estos marcos de modelado del entorno de Ingeniería del Productos, de forma que le confieran la variedad requerida, la adaptabilidad, etc., todo ello a mínima complejidad?

\*¿Qué recursos y herramientas de modelado existen en el mercado para soportar los marcos y principios de modelado?

\*¿Qué herramientas y tecnologías de la información existen en el mercado que posibiliten la implementación de los modelos de entornos de Ingeniería del Producto Concurrente, dotados de las características enunciadas?

En sucesivos apartados vamos a proceder a dar respuesta a los interrogantes formulados para entornos de Ingeniería de Producto, integrados en el contexto de Empresas Extendidas y Virtuales.

## 2. MARCOS DE MODELADO DE EMPRESAS Y ENTORNOS DE INGENIERÍA CONCURRENTE.

Entre los marcos de modelado de empresas (que integran el proceso de Ingeniería del Producto) cabe considerar [2]:

\*CIMOSA para empresa CIM.

\*GRAI y PERA para empresas de actividad genérica.

\*GERAM, que constituye el marco genérico que soporta el modelado y las arquitecturas de referencia para la integración de empresa. Esta propuesta integra los anteriores marcos como CIMOSA, GRAI y otras.

En el Marco GERAM se estructuran las entidades requeridas para un proyecto de modelado, provee los recursos de modelado, da soporte de arquitecturas de referencia y se dispone de un conjunto de primitiva ontológica (generales, parciales o particulares) reutilizables, siendo a juicio de muchos autores [2.3] un recurso que posibilita el modelado (análisis y síntesis) del un entorno de Ingeniería del Productos (para empresa virtual, extendida y concurrente) con la variedad requerida, soportable bajo tecnología de agentes inteligentes.

GERAM se estructura sobre tres pilares fundamentales:

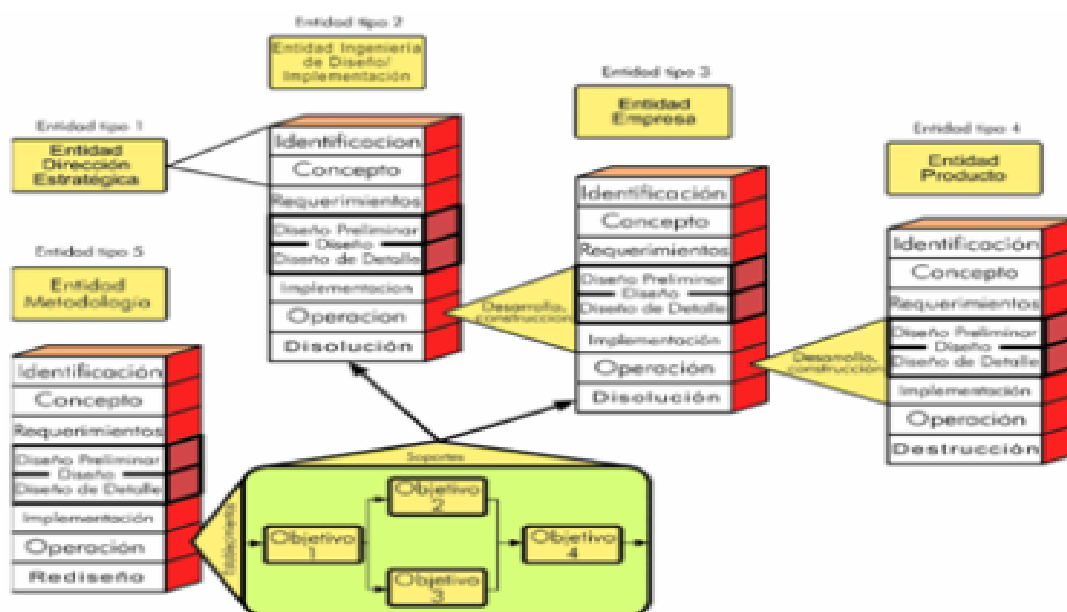
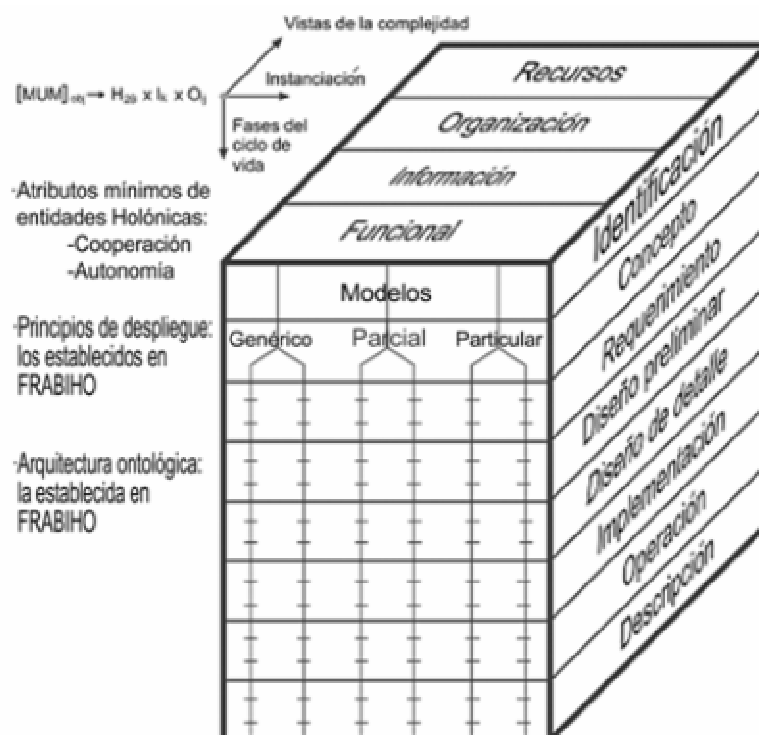


Figura 2. Entidades de modelado de empresas bajo GERAM.

\***Las entidades** que constituyen el desarrollo de un proyecto de modelado de empresa, estas son: La estrategia, el producto, la empresa, la empresa de ingeniería y la empresa como se recoge en la Figura 2.

\***Los recursos metodológicos** para la gestión del procesos de modelado centrado en tres dimensiones de la complejidad del objeto a modelar (la empresa), estos son: la vistas de la complejidad, la granularidad o nivel de análisis y las fases del ciclo de vida, esto queda representado en la Figura 3.

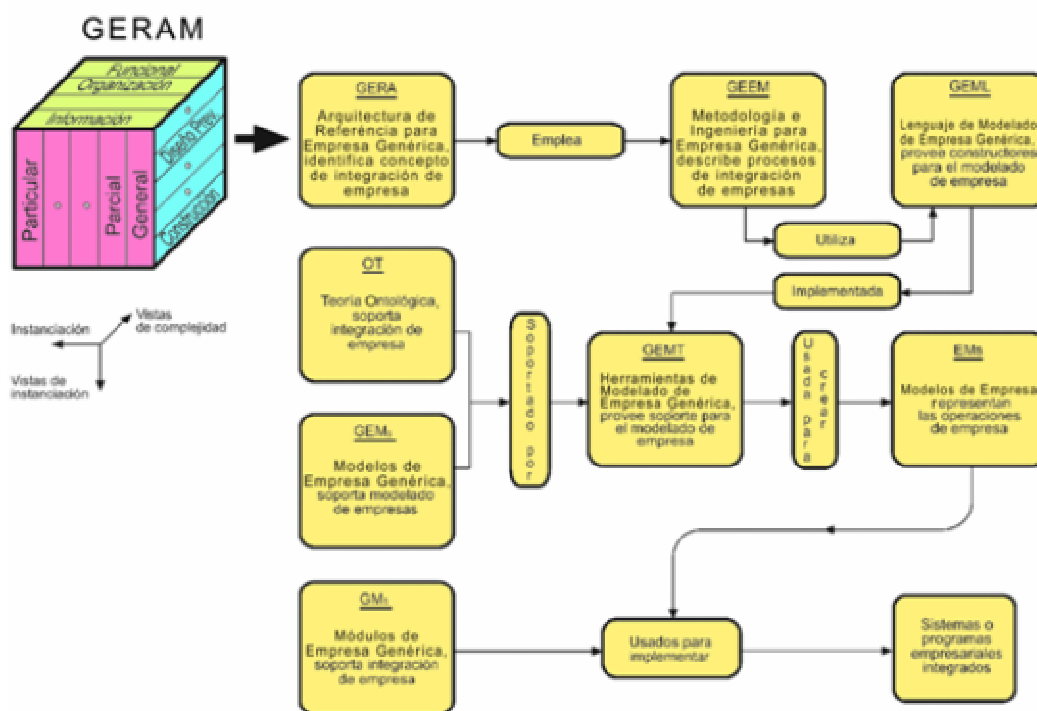


**Figura 3.** Vistas de modelado de la empresa.

\***Los sistemas de ontologías** que junto a los recursos metodológicos permiten reusar la experiencia o instanciarla en casos concretos, posibilitando acortar el ciclo de diseño y desarrollo de la empresa e incrementar la productividad y eficiencia de todo el proceso. Dentro de estos cabe mencionar los lenguajes de modelado (IDEF, UML, UEML, etc.) y el sistema de ontologías que permite reusar la experiencia, como queda representado en la Figura 4.

Dentro de este contexto de modelado de empresa y de un modo muy especial para el modelado de empresas virtuales, extendidas y concurrentes, que habitualmente se constituyen para abordar proyectos de productos complejos con fuertes restricciones de tiempo para su introducción en el mercado, surgen la necesidad de acometer el diseño e implementación de entornos de Ingeniería del Producto distribuidos y colaborativos, que den dar cobertura a los requerimientos de estos tipos de empresas.

Las propuestas de modelado que hemos expuesto son realizadas bajo el paradigma de la integración de empresas [2,3], que se apoya en el metamodelo conceptual de la teoría de sistemas para el despliegue de los principios de análisis y síntesis.



**Figura 4.** Elementos del marco de modelado GERAM y ontologías propuestas.

Desde distintos ámbitos (dinámica situacional) se ha venido cuestionando la validez del marco sistémico para el análisis y la síntesis (modelado) de las distintas vistas de la empresa, especialmente de la vista informacional soportada con tecnología de agentes inteligentes. Estas propuestas ha conducido a la consideración de objetos naturales (biónicos) que a modo de protomodelo que poseen las características deseadas para las empresas (agilidad, resiliencia, flexibilidad, etc.), aporten los principios para la síntesis y análisis de las empresas y los entornos de diseño y fabricación, entre estos cabe mencionar los protomodelos fractales, biónicos y holónicos, dando lugar a la empresa holónica [4], fractal [5], biónica [6,7]

La búsqueda de nuevos paradigmas y protomodelos, proviene como hemos indicado de los límites del paradigma sistémico, puesto de manifiesto por la teoría de sistemas situacionales y de gran relevancia para entornos de diseño distribuidos.

### 3. PROTOMODELOS PARA EL MODELADO DE ENTORNOS DE INGENIERIA DEL PRODUCTO DISTRIBUIDA.

Los protomodelos para la fabricación distribuida son objetos de referencia natural, en los que se identifican los atributos requeridos para el entorno de Ingeniería del Producto, entre los mismos se encuentran:

**\*Protomodelo fractal:** Este parte de la analogía con sistemas naturales [5], en los que a partir de entidades discretas y leyes recursivas de crecimiento, se obtienen sistemas que muestran comportamiento o fenomenología estructural continua. La unidad elemental de modelado es el Fractal, los principios de síntesis de las unidades organizacionales o del producto son: la

autosemejanza, autoorganización, autooptimización y la orientación al objetivo.

**\*Protomodelo Biónico:** Este protomodelo es propuesto en el dominio del modelado de sistemas distribuidos inteligentes por Vaario y Ueda [6,7], su objeto es encontrar los principios de síntesis para el modelado de sistemas de diseño y fabricación distribuidos en los organismos vivos, en algunos de sus órganos o en los ecosistemas en que viven. La unidad elemental de análisis es el modelon, y los principios de síntesis se extraen ah-doc del organismo vivo, que sirve como protomodelo.

**\*Protomodelo Holónico.** Este protomodelo surge a partir de los trabajos de Koestler [4], que analiza la forma en que se organiza y evolucionan las estructuras físicas, biológicas, psicológica y sociológicas evolutivamente estables con el entorno en que coexisten, postulando como unidad de análisis y síntesis el holón/holarquía.

Por tanto para el modelado del entorno de Ingeniería del Productos se puede partir del marco (sistémico, holónico, fractal, biónico) que aportara los elementos mas moleculares de modelado (holones, fractales, modelones, sistemas) y los principios generales de síntesis, efectuando su modelado en cuanto a las dimensiones de la complejidad (vistas), la generalidad (nivel de detalle) y las fases de ciclo de vida mediante el marco GERAM, que nos permite organizar y reusar la experiencia, captando todas las dimensiones de la variedad requerida bajo la estrategia de producto o requerimientos del mercado.

El concepto de variedad es introducido por Ashby [8], este autor demuestra que sólo desde una variedad igual o superior del sistema controlador a la del sistema controlado, es posible su control de forma estabilizada. La teoría de Ashby la podemos enunciar en términos que nos permitan determinar el alcance y limitación de los metamodelo, protomodelo, así como de los modelos que de ellos se derivan en el diseño y desarrollo de productos.

Bajo la teoría de Ashby puede decirse que sólo desde la variedad de respuesta (capacidad de captar requerimientos del mercado, diseñar, fabricar) puede neutralizarse la variedad de problemas (sintetizar y mejorar sistemas de fabricación o productos que satisfagan el mercado). Para que un Entorno de Ingeniería del Producto logre resultados eficaces e incluso para que pueda mantenerse como tal, es necesario que la variedad de las respuestas (diseño, fabricación) sea, al menos, tan amplia como la variedad de acontecimientos significativos del ambiente en que opera (mercado, cliente, producto, requerimientos de los nuevos modelos de empresas). La manifestación de esta variedad se expresa por términos o parámetros como flexibilidad, agilidad, reconfigurabilidad, etc.

De los tres protomodelos el que posee un mayor grado de generalidad es el holónico y garantiza obtener la variedad requerida al tener más amplificadores y menos filtros de variedad. En el apartado siguiente exponemos sus rasgos generales y el proceso para el diseño de un entorno de Ingeniería del Producto Holónico.

#### **4. INGENIERIA DEL PRODUCTO HOLONICA.**

Las funciones principales de los entornos de Ingeniería del Producto distribuido (Empresa extendida, concurrente o virtual) se modelan bajo la forma de una red de entidades funcionales autónomas y cooperativas, con posibilidad de tomar decisiones descentralizadas, las unidades organizacionales pueden desarrollar autónomamente los objetivos que le son asignados y deben cooperar unas con otras en la consecución del objetivo global. La unidad de síntesis propuesta para entornos de Ingeniería del Producto Holónica es el Holón.

La unidad y los principios de análisis y síntesis (modelado) de los sistemas holónicos fueron propuestos por Koestler [9] y son los siguientes:

**\*Holón:** Es un bloque constitutivo, autónomo y cooperativo del entorno de Ingeniería del Producto para diseñar y desarrollar productos y procesos. El Holón puede estar constituido por una parte para procesar información y otra para procesamiento físico. Un Holón puede ser parte de otro Holón, siendo simultáneamente todo y parte, dando lugar al concepto de holón como parte que se integra en otras holarquías y holón como todo que integra en su seno una o varias holarquías/holones.

**\*Holarquía:** Es un sistema de holones que pueden cooperar para alcanzar un objetivo. La holarquía define las reglas básicas de cooperación y por tanto limita la autonomía de los holones.

**\*Autonomía:** La capacidad de una entidad holónica de crear y controlar sus propios planes y/o estrategias.

**\*Cooperación:** Un proceso donde un conjunto de entidades holónicas desarrollan planes mutuamente aceptables y ejecutan los mismos.

**\*Entorno de Ingeniería del Producto Holónico,** una holarquía que integra y da soporte al conjunto de procesos y actividades de la Ingeniería del Producto (análisis de necesidades, especificación funcional, diseño preliminar, diseño de detalle, prototipado, validación y verificación etc.)

**\*Atributos Holónicos:** Atributos de una entidad que la convierte en un Holón. El conjunto mínimo está integrado por autonomía y cooperación. Un Holón además de los atributos y procedimientos holónicos posee las funciones o competencias que le son requeridas en atención a su especialización.

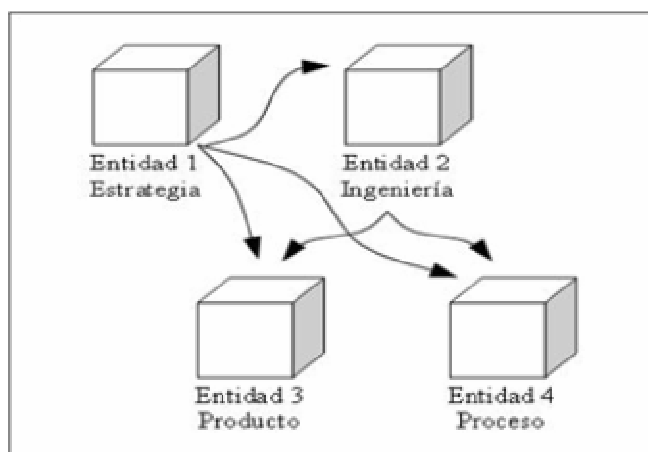
**\*Holonomía:** Es el modo en que un Holón muestra sus atributos holónicos en una sociedad de holones.

**\*Dominio de colaboración:** Conjunto de holarquías en las que colabora el holón como parte y queda caracterizado por los roles o funciones requeridas al Holón como parte y las características del escenario en que se desarrollan.

**\*Dominio de Colaboración:** Conjunto de holarquías orientadas a un objetivo que integra el holón como todo para dar soporte a los requerimientos del Dominio de Colaboración y a las funciones vitales o de soporte del holón. Un dominio de colaboración puede estar integrado por un Holón coordinador y un conjunto de holones de competencias específicas.

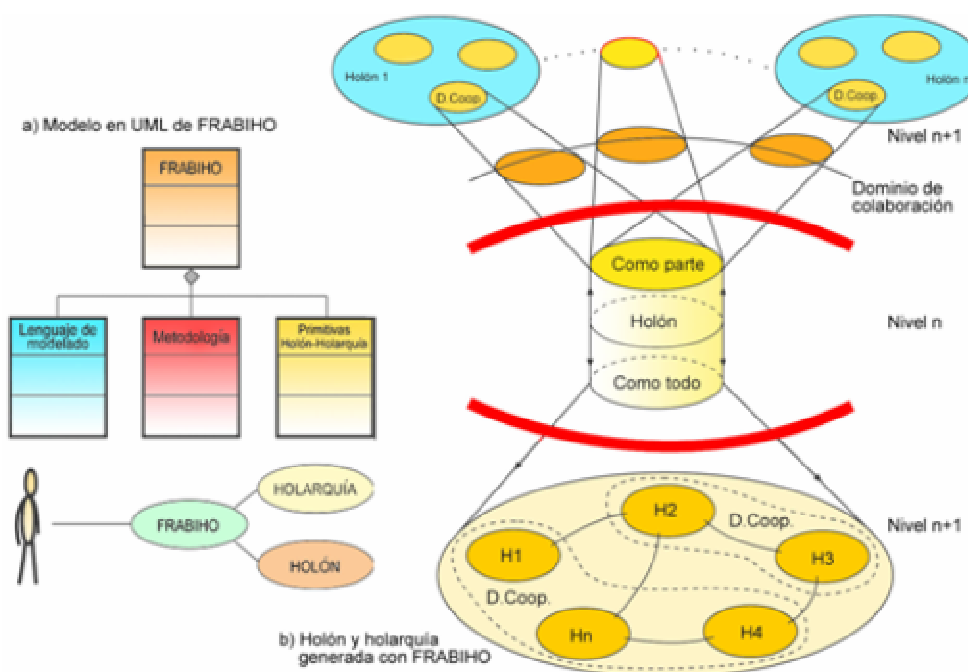
#### 4.1. Holón de Ingeniería concurrente holónica

El holón de ingeniería concurrente en su nivel “top” queda caracterizado por su nivel de colaboración, proveniente del holón de estrategia de producto que integra los requerimientos de la estrategia corporativa, la voz del cliente, de la tecnología y el proceso. Las entidades que integran un proyecto en un entorno de Ingeniería del Producto bajo el enfoque de Ingeniería Concurrente son la que aparecen en la Figura 5. Para el caso de un entorno de Ingeniería Concurrente Holónico dichas entidades serán holones.



**Figura 5.** Entidades Holónicas que integran el holón de Ingeniería del Producto.

Para el diseño de cada una de las entidades recogidas en la Figura 5, se procede a caracterizar cada uno de los holones a través de la metodología GERAM. Producto.

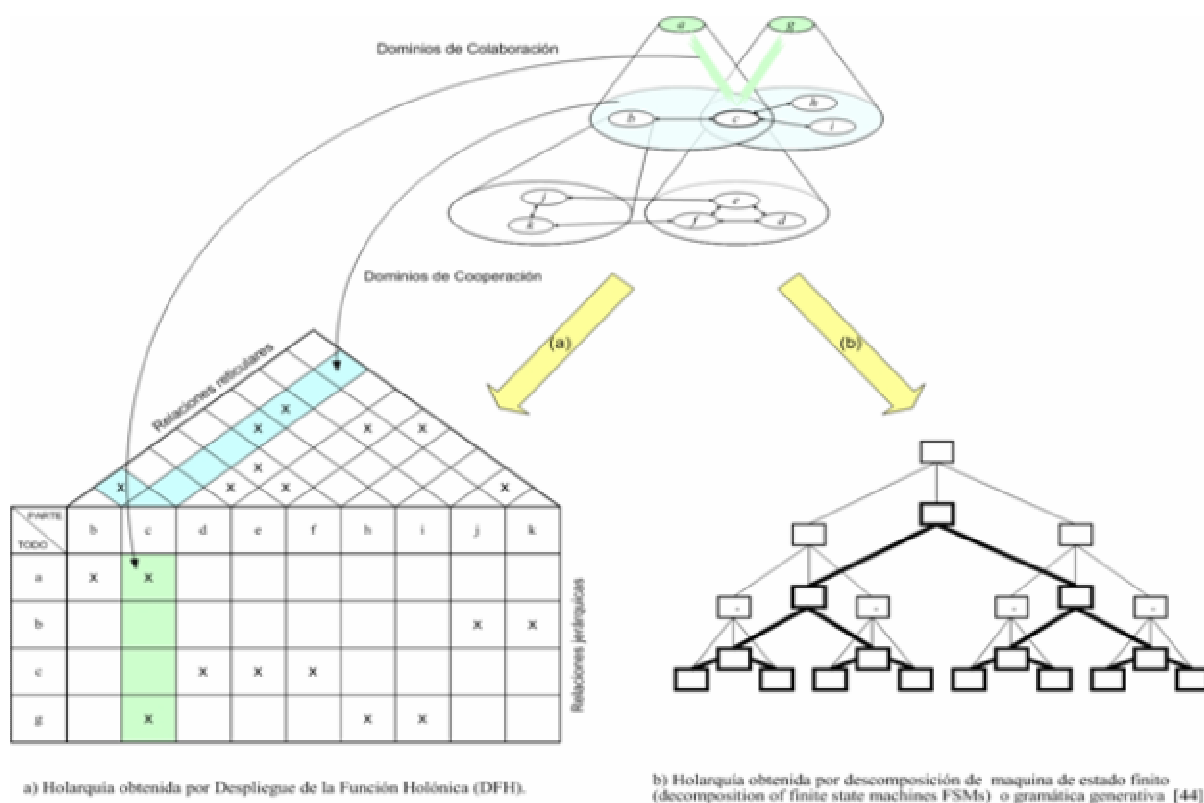


**Figura 6.** Modelo de holón integrando dominio de Cooperación y Colaboración bajo principios FRactales, Blónicos y Holónicos.



Así para la fase de especificación, la vista requerimiento y el nivel genérico, se procede a caracterizarlo como parte a partir de su dominio de colaboración, identificando y caracterizando los casos de uso del mismo. Posteriormente se procede a especificarlo como todo en la misma fase del ciclo de vida (especificación) en el nivel genérico, parcial o particular bajo la vista funcional, mediante herramientas como Análisis Funcional, QFD, Matriz de Despliegue Holónica, TRIZ, diseño axiomático, etc., pudiendo desarrollar otras vistas para caracterizar el holón como todo y la holarquía de procesos que ha de integrar, en función de la variedad requerida.

De esta forma, como queda recogido en la Figura 6 se procede a especificar el Dominio de Colaboración y el Dominio de cooperación de holón de Ingeniería del Como hemos indicado, una vez que se ha obtenido el conjunto de requerimientos que constituye el Dominio de Colaboración se procede al establecimiento del dominio de Cooperación, uno de los métodos es mediante la Matriz de Despliegue Holónica, que aparece en la Figura 7.



**Figura 7.** Matriz de Despliegue Holónica.

Entre las técnicas que permiten la holonización de los dominios de colaboración se emplean la Matriz Estructural de Diseño (Design Structure Matrix DSM)

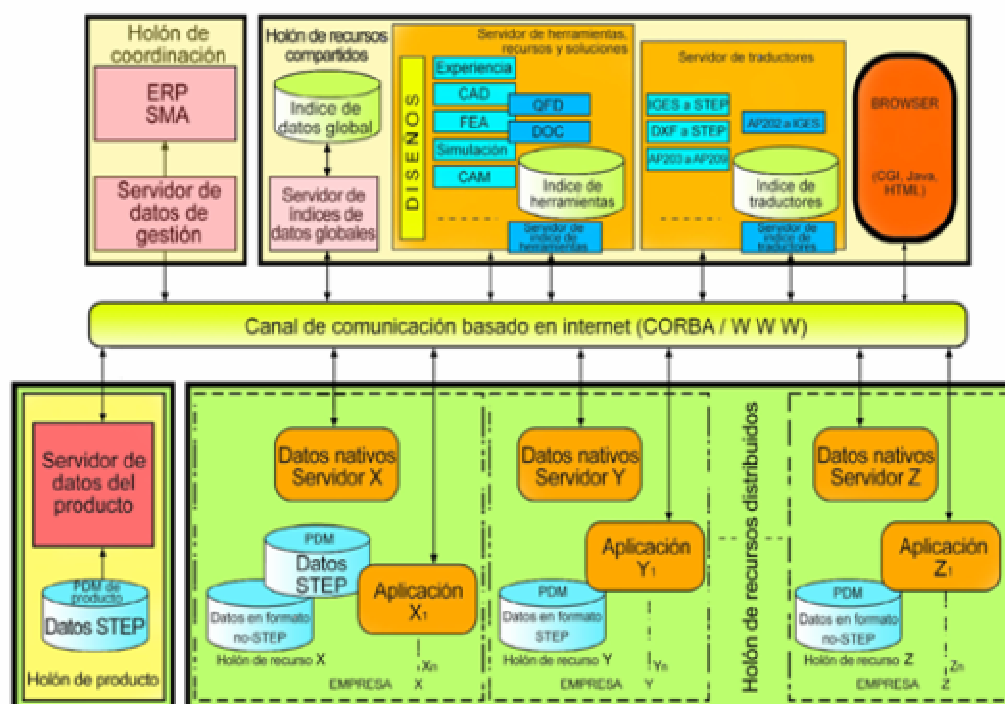
#### 4.2. Modelado de la vista Informacional del holón de Ingeniería del producto.

Para el modelado de la vista informacional del Holón de Ingeniería del Producto se puede emplear IDEF en sus distintas versiones, Otros lenguajes de modelado para la vista informacional del dominio de Cooperación del Holón Ingeniería del Producto son UML y Express.

## 5. TECNOLOGÍA DE SOPORTE PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA VISTA INFORMACIONAL DEL HOLÓN DE INGENIERÍA DEL PRODUCTO.

En relación a la tecnología de implementación para el entorno de Ingeniería del Producto, esta debe posibilitar el mapeado de los holones desde los principios básicos de la holónica, que como hemos expuesto son: los de autonomía y cooperación. La máxima eficiencia se obtiene cuando los distintos procesos y actividades de la cadena del valor del Entorno de Ingeniería del Producto, incluidos los recursos, son concebidos holónicamente.

Una arquitectura para la implementación del Holón de entorno de Ingeniería del Producto y los recursos requeridos, aparece en la Figura 8 para una empresa virtual.



**Figura 8.** Arquitectura informacional de la empresa virtual de Ingeniería de Productos.

Una relación de los recursos requeridos de forma somera es:

- Herramientas ERP para el holón coordinador.
- Sistema PLM o PDM.
- Servidor de herramientas, recursos y soluciones.
- Servidor de traductores.
- Herramientas de trabajo en grupo.

Algunos escenarios operacionales en el entorno de Ingeniería del Producto Holónico para empresa Virtual que han de ser identificados y caracterizados para determinar su dominio de colaboración, son los siguientes:

- a) Empresas como la **X**, que usa sus sistemas de CAD para diseño de productos, salva los datos de productos en formato nativo del sistema CAD o en formato STEP AP 203.
- b) A través del navegador, la empresa **X** busca servicios de FEA y datos de diseño localizado en la empresa **Y**.
- c) La empresa **Z** recurre a los traductores AP 203 y AP 209, para traducir datos de diseño bajo AP 203 a datos de diseño dentro de AP 209 localizados en la empresa **Y**.
- d) La empresa **Y** recurre a un sistema FEA (que sólo acepta datos de AP 209) para llevar a cabo un análisis por elementos finitos.
- e) Mediante el navegador, la empresa **Z** busca servicios de conversión AP 203 a IGES y datos de diseño localizados en la empresa **X**.
- f) La compañía **Z** recurre al traductor AP 203 a IGES, para traducir datos de diseño de AP 203 a datos de diseño IGES localizados en la compañía **Z**.
- g) La empresa **Z** usa un sistema de mecanizado virtual (que sólo acepta datos IGES) para completar sus tareas de mecanizado virtual de prototipos.
- h) La empresa **Y** recurre a la traductor AP 203 a DXF para obtener un modelo CAD, a partir del cual obtener un prototipo rápido por esterolitografía en su laboratorio de prototipo rápido.
- i) La empresa **Y**, tras validar una maqueta de un producto en Clay (arcilla termoestable), realiza tareas de ingeniería inversa para obtener puntos de contorno mediante escáner de láser tridimensional para procesarlo en modelo CAD en formato IGES, que una vez completado las tareas de Ingeniería inversa, han de ser pasados a STEP.

## **BIBLIOGRAFIA.**

- [1] Aguayo, F. *Metodología del Diseño. Un enfoque desde la Ingeniería Concurrente*. Ed. Rama, Madrid, 2002.
- [2] Molina, A, Sanchez, J.M., Kusiak, A., *Handbook of Life Cycle Engineering: Concepts, Models and Technologies*. Ed. Kluwer Academic Publishers, London, 1998.
- [3] L. Bernus, A. Nemes, *A framework to define a Generic Enterprise Reference Architecture and Methodology. (GERAM)*, Computer Integrated Manufacturing Systems 9 (3), 1996, 179-191.
- [4] IMS, *Holonic Manufacturing Systems (HMS) Project*, Documento Internet, Septiembre 1999, URL: <http://www.ims.org/project/projinfo/holonic.htm>
- [5] H.J. Warneke, *The fractal company: A revolution in corporate culture*, Ed. Springer-Verlag, Berlin, 1993.

[6] N, Okino, *Bionic manufacturing systems-modelon based approach, organization of engineering knowledge for product modelling*, in: Computer Integrated Manufacturing, Elsevier Sciencies B.V. (North Holland), pp. 65-81.

[7] K, Ueda, *A concept for bionic manufacturing systems based on ADN-type information*, IFIP Transactions, Elsevier Science B.V. (North Holland), pp. 853-863.

[8] W.R. Ashby, *An introduction to cybernetics*. Ed. Chapman and Hall, Londres, 1956, [11] J. Vaario, K, Ueda, *An emergent modelling method for dynamic scheduling*,

[9] A. Koestler, *The ghost in the machine*. Ed. The Danube Edition, London, 1978.

### **CORRESPONDENCIA.**

Francisco Aguayo  
Escuela Universitaria Politécnica.  
Virgen de África nº 7  
41011 Sevilla.  
954552827  
faguayo@us.es