

# La Holónica como marco paradigmático para la Ingeniería de la Prevención. Aplicación al Diseño Macroergonómico



**Aguayo, Francisco**

Escuela Universitaria Politécnica / Universidad de Sevilla / calle Virgen de África, 7 / 41011 Sevilla, España  
+34 95 455 28 27 / [faguayo@us.es](mailto:faguayo@us.es)



**Lama, Juan R.**

Escuela Universitaria Politécnica / Universidad de Sevilla / calle Virgen de África, 7 / 41011 Sevilla, España  
+34 95 455 28 27 / [jrlama@us.es](mailto:jrlama@us.es)

---

**Marcos, Mariano**

Escuela Superior de Ingeniería. c/ Chile s/n, 11003-Cádiz. Tel.  
+34 956.015100.e-mail / [mariano.marcos@uca.es](mailto:mariano.marcos@uca.es)

**Soltero, Victor M.**

**Cortés, José M.**

Escuela Universitaria Politécnica / Universidad de Sevilla / calle Virgen de África, 7 / 41011 Sevilla, España  
**+34 95 455 28 27 / [vmsoltero@us.es](mailto:vmsoltero@us.es)**

## ABSTRACT

En la presente comunicación se exponen los principios del modelo de diseño holónico, dichos principios constituyen el marco paradigmático para el análisis y la síntesis de sistemas sociotécnicos complejos, distribuidos, autónomos y cooperativos. El marco holónico, posibilita la concepción integrada de las distintas vistas de la complejidad en proyectos de estas características desde la perspectiva del ciclo de vida. Se presenta el modelado de su vista informacional mediante holones con parte software y hardware, que constituyen la holarquía en la que la interacción con los holones humanos se lleve a cabo con la máxima eficiencia operacional, de forma que conlleve la mínima carga física y cognitiva, en el contexto de una matriz sociotécnica integrada.

## Palabras clave

Holónica, holón, holarquía, cooperación, autonomía, integración, ingeniería de la prevención, sistema sociotécnico, macroergonomía

## INTRODUCCIÓN

La Ingeniería de la Prevención tiene distintos niveles de actuación, como son los de nivel de tarea, puesto de trabajo, proceso, empresa, sistema de fabricación o proyecto, para cada uno de estos niveles existen distintas vistas o aspectos de los mismos que han de ser integrados armónicamente y de forma robusta,

contemplándolos desde la perspectiva del ciclo de vida, con el propósito de evitar la siniestralidad laboral. En lo que sigue nos vamos a centrar en la concepción de empresas y sistemas de fabricación desde la perspectiva de la macroergonomía, como visión integradora de la Ingeniería de la Prevención; aportando un marco que sustente la complejidad derivada de los distintos grados de concreción, vistas de la complejidad y la perspectiva del ciclo de vida.

La Siguiete Generación de Empresas (extendidas, distribuidas, concurrentes) y sus Sistemas de Fabricación (SGSF) puede caracterizarse [1,2] por el uso intensivo de la Ingeniería Concurrente basada en modelos digitales del producto y el proceso, redes de computadores e inteligencia artificial, para dotarles de agilidad y capacidad de respuesta, de tal forma que posibilitan la obtención de productos de alta calidad en pequeños lotes personalizados, bajo criterios de sostenibilidad. Los Sistemas de Fabricación pertenecientes a estas empresas están constituidos por [1,2] entidades autónomas distribuidas inteligentes, que se autoorganizan y autooptimizan para la consecución de los objetivos productivos. Esta situación requiere que las entidades que los constituyen puedan trabajar de forma autónoma, cooperativa y ejercer la autoasertividad propia de la parcela de experiencia a la que pertenece la entidad, o su bagaje cultural. Una arquitectura genérica de este tipo de sistema de fabricación queda recogida en la Figura 1.

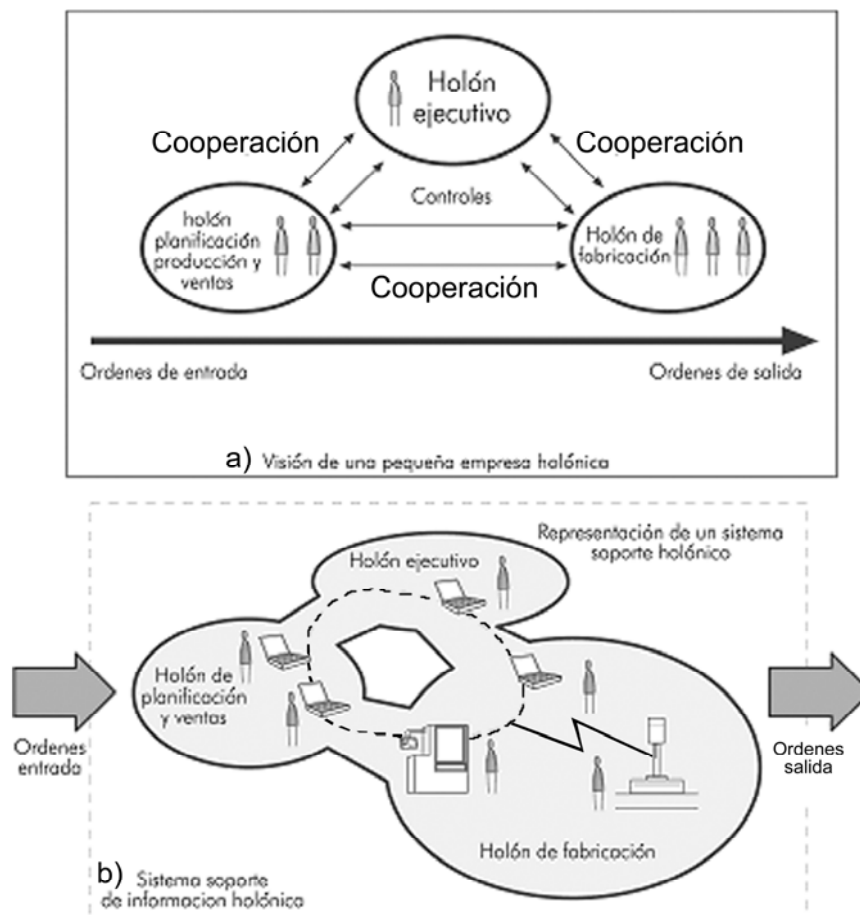


Figura 1. Conceptualización holónica de un sistema de fabricación por establecimiento de holones y holarquías

Para que dichas empresas y sus sistemas de fabricación posean las

características anteriormente citadas, el sistema informacional que da soporte a las tareas de diseño, fabricación y gestión debe posibilitar en sus distintos niveles de concreción (estación de trabajo o célula, línea, planta de fabricación, departamentos de gestión, etc.), los siguientes modos operacionales:

- El desacoplamiento de los subconjuntos o paquetes de trabajo (de producto y proceso) mediante interfaces, para que las tareas que son asignadas a las entidades distribuidas (procesos) se puedan llevar a cabo de forma autónoma, minimizando los esfuerzos de coordinación (Autonomía).
- Posibilitar la articulación de la perspectiva o contexto particular que un diseñador, gestor u operador humano (supervisor de la planta, línea de fabricación), utiliza desde su personalidad para dar un significado al conocimiento, el cual determina cómo el diseñador (controlador) percibe, piensa, representa el problema y la información que consecuentemente afecta al diseño, gestión operación (control, supervisión). Las carencias de estos modos operacionales han imposibilitado a los agentes que integran el SF o empresa encontrar óptimos locales (operaciones fiables), desde su perspectiva cognitiva, su organización del conocimiento, modos de representación del diseño o la tarea, y ejercer las capacidades de cooperación, ejercicio de la autonomía y asertividad de que están dotados (Autoasertividad).
- Integrar la multiplicidad de contextos o perspectivas implicadas en el diseño, gestión operación (supervisión y control de procesos de fabricación) de un sistema complejo, como son las que frecuentemente se dan en un entorno de empresas, ingeniería o fabricación distribuida, entre las que cabe destacar: las de toma de decisiones, el carácter disciplinar (termodinámica, mecánica, marketing, procesos, etc.), el tiempo (corto versus largo plazo) la evolución temporal (variante e invariante en el tiempo), la escala de análisis (pequeña versus gran escala), las dimensiones de representación (dos versus tres dimensiones), todas ellas constituidas por especialistas con diversas experiencias, preferencias y culturas. Para la consecución de la integración de las distintas perspectivas se hace necesario un espacio de interacción entre los distintos diseñadores (controladores-supervisores), que permita la convergencia de las perspectivas o soluciones locales en una solución global satisfactoria, todo ello mediante mecanismos y tipos adecuados de interacción: comunicación, coordinación, cooperación, colaboración y negociación (Cooperación, Autooptimización).
- Aportar un marco para gestionar el flujo de información y conocimiento generado en el proceso de diseño (control-supervisión) colaborativo, así como de las interacciones requeridas para conducir el flujo, elicitar el conocimiento y vencer la resistencias al cambio (Cooperación y Aprendizaje).
- Prevenir incurrir en errores provenientes de los modelos mentales y de los estilos cognitivos de los operadores, así como la falta de Perspectiva Disyuntiva Temporal en las áreas del conocimiento de resolución de tareas, como son: el conocimiento profundo en el que se encuentra el conocimiento detallado e íntimo (destrezas y conocimientos técnicos); el área intermedia que contiene conocimiento de carácter más difuso, quizás con errores, lagunas y malas interpretaciones (conocimientos de departamentos adyacentes y parcial de procesos técnicos), el conocimiento parcial de los procesos técnicos y las actividades técnicas de gestión superior o inferior; en torno a esta área se encuentra otra más externa de conocimiento esquemático, quizás mejor descrito como prejuicios y suposiciones. Los

sistemas de información de las Empresas y sus sistemas de Fabricación deben impedir los errores derivados de la Información Disyuntiva Temporal en la interacción de los agentes en resolución de distintas tareas a través de capacidades como Resiliencia, Flexibilidad y Desarrollo del Grupo.

Concebir Empresas y Sistemas de Fabricación con los modos operacionales y características anteriormente mencionadas es un problema de macroergonomía. La propuesta que formulamos consiste en la consideración de la holónica como marco para concebir Empresas y Sistemas de Fabricación, en los que los requerimientos macroergonómicos sean contemplados de un modo natural en la concepción de las distintas entidades que lo constituyen en cualquier nivel de concreción y fase de su ciclo de vida.

Son varios los aspectos a considerar entre los que cabe destacar: Contemplar todas las vistas de la complejidad de un sistema sociotécnico, incluir todas las fases de su ciclo de vida (perspectiva del ciclo de vida), concebir el sistema sociotécnico desde los principios de la sostenibilidad social, económica y ambiental.

## MACROERGONOMÍA

La ergonomía [3,4] a nivel de Empresa o Sistemas de Fabricación puede conceptualizarse como la solución óptima de integración de interfaces entre hombre-sistemas-ambiente. La ergonomía como una disciplina científica está relacionada con el desarrollo del conocimiento sobre las capacidades, limitaciones y otras características de los seres humanos al ejecutar acciones e interactuar, siempre que este conocimiento esté relacionado con el diseño de la interface entre las personas y los sistemas ó sus componentes. Se pueden identificarse al menos cuatro componentes de esta tecnología de la interface hombre-sistemas-ambiente en el contexto de los del Diseño Empresarial y de los SF:

- Tecnología de la interface hombre-máquina ó Ergonomía del "hardware": El desarrollo de esta tecnología fue la base del desarrollo de la Ergonomía como ciencia en Estados Unidos. Se refiere al estudio de las características físicas, perceptuales del hombre con el objeto de utilizar esta información en el diseño de puestos de trabajo, controles, dispositivos informativos visuales, auditivos o táctiles. También se conoce esta tecnología como fisioergonomía.
- Tecnología de la interface hombre-ambiente ó Ergonomía ambiental: Esta es otra de las bases fundamentales del desarrollo de la Ergonomía, con su mayor expresión esta vez en Europa. Se refiere a la obtención de información sobre los resultados que pueden obtener las personas al desarrollar actividades según sea el comportamiento de las variables ambientales, tanto en ambientes naturales, como en ambientes artificiales. El objetivo práctico es diseñar ambientes que maximicen las capacidades de las personas y minimicen sus limitaciones cuando desempeñan acciones con algún objetivo. Es complementaria a la anterior en cuanto considera los escenarios de realización de las tareas en sus aspectos medioambientales.
- Tecnología de la interface usuario ó Ergonomía Cognitiva: Este tipo de tecnología comienza a desarrollarse en los finales de los años 70s y principios de los 80s y representa una ampliación de la información humana que era objeto de estudio de la Ergonomía del Hardware. Además de las características físicas y perceptuales de los humanos, se incluye el estudio de los procesos cognitivos. El uso de las computadoras en la industria, y en general su generalización en casi todas las actividades humanas, provoca que el estudio de la forma en que actúan y piensan los seres humanos sea

más importante que antes para obtener resultados más eficientes. El primer objeto de diseño donde se usa esta tecnología está constituido por los programas de computación.

- Tecnología de la interface hombre-organización-ambiente-máquina ó Macroergonomía: Esta nueva evolución de la tecnología de la Ergonomía considera a los cuatros elementos de los sistemas socio-técnicos. El objetivo central es por tanto, optimizar el funcionamiento de los sistemas de trabajo a través de tener en cuenta la interface del diseño organizacional con la tecnología, el ambiente y las personas.

El caso del diseño de una Empresa o Sistema de Fabricación ergonómico implica considerar las distintas perspectivas [1,2] o vistas de la complejidad desde la perspectiva del ciclo de vida, pero en lo que se refiere al diseño de la vista informacional adquiere una especial importancia la última perspectiva apuntada o macroergonomía. Por ser el sistema de información el que determina las interfaces de interacción con el sistema físico, con otras personas, con otros grupos, etc.

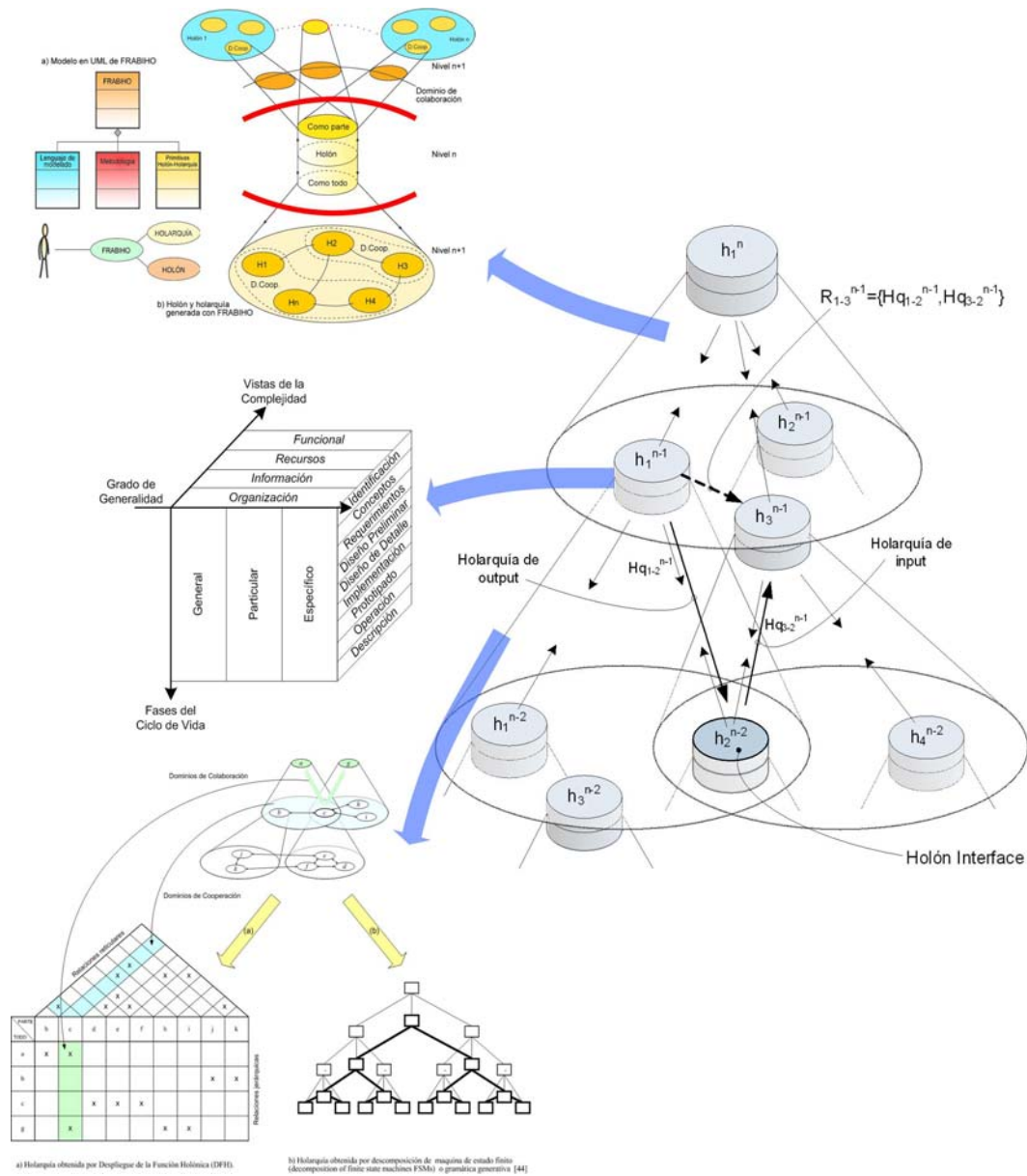


Figura 2. Marco genérico para el diseño holónico de un Sistemas de Fabricación.

La propuesta para el diseño de Empresas y Sistemas de Fabricación Ergonómico en todos los niveles de concreción, vista de la complejidad y desde la perspectiva del ciclo de vida, en base al paradigma holónico como se muestra en la Figura 2, consiste en:

- Conceptualización del sistema de fabricación como holón y holarquía.
- Establecimiento de los requerimientos y vínculos ascendentes del holón como parte por el dominio de colaboración.
- Establecimiento y gestión del Holón como todo, mediante matriz de síntesis.
- Establecimiento de los dominios de cooperación requeridos por el holón como todo, a través de la matriz de despliegue holónico y matriz de sostenibilidad.

Mediante el modelo de diseño y desarrollo holónico se posibilita, para todo Holón/Holarquía, la integración de interfaces que garanticen la mínima carga física, cognitiva, ambiental y sociocognitiva, contemplando por tanto la perspectiva macroergonomica.

## MARCO HOLÓNICO PARA LA CONCEPCIÓN MACROERGONÓMICA DE EMPRESAS

Vamos a exponer los rasgos más característicos del paradigma holónico [5] y del diseño holónico de de Empresas y sistemas de fabricación distribuidos, como paradigma para captar e integrar toda la Variedad (Complejidad) de una empresa o sistema de Fabricación.

Un Sistema Holónico (SH), en sus distintos niveles de concreción y aspectos de la complejidad, es conceptualizado a partir de una serie de entidades abstractas, denominadas holones, que tienen su origen en trabajos de Koestler [6-9] orientados a obtener una ontología de la organización de los objetos naturales y de los procesos de su evolución, que este autor denomina Sistema de Jerarquía Abierta Autorregulado (SJAA). Entre los elementos de la ontología holónica de objetos naturales figuran los de holón, holarquía y otros conceptos que tratan de modelar las estructuras y procesos que son comunes a los sistemas bio-psico-sociológicos. La ontología de Koestler [6-9] tiene interés para su proyección en la síntesis y análisis del sistema sociotécnico que constituye desde una fábrica o empresa virtual o extendida en sus distintos niveles de agregación hasta una aplicación para PC, su interface o puesto de trabajo y, de este modo, potenciar sus características con las tecnologías holónicas de la información.

- Definición 1. Sistema Holónico. Un Sistema Holónico (SH) es una dupla (Conjunto de dos elementos) evolutivamente estable en un entorno determinado, que presenta una estructura autosimilar en cualquier nivel de análisis y dimensiones de la complejidad:

$\langle SH \rangle ::= \langle \langle \langle \text{Holón} \rangle / \langle \text{Holarquía} \rangle \rangle \langle \text{Entorno} \rangle \rangle$

- ◊ Holón. Entidad básica de análisis y síntesis como todo y como parte con capacidad operacional sobre la materia, energía. e información, desde la cooperación, autonomía, holonomía y autoasertividad. Obtenido por inspiración en entidades biológicas, psicológicas, sociales o en una ontología derivada de las mismas.

- ◇ Holarquía. Organización de la sociedad de holones que se orientan a un objetivo mediante la autonomía, cooperación, holonomía y el ejercicio de la asertividad. Se estructura en base a un canon o conjunto de reglas fijas y unas estrategias flexibles. Estos a su vez se descomponen recursivamente desde principios fractales en sus correspondientes holarquías.
- ◇ Entorno. Variables ambientales internas y externas, que configuran las contingencias en las que el holón opera y es evolutivamente estable.

• Definición 2. Holón. Un holón es una entidad orientada a un fin como un todo, autónoma, cooperativa, con capacidad de regulación y reconfiguración, en la que se integran propiedades de holisticidad y atomicidad como son ser Todo y Parte, Contenido y Continente, Subordinante y Subordinado, Controlador y Controlado, en equilibrio dinámico con el medio ambiente a través del balanceado de la: autonomía, cooperación, mecanismos evolutivos de integración, asertividad y autoafirmación. Un modelo abstracto de holón debe posibilitar su descripción como todo y parte, en los distintos niveles holónicos de forma recursiva. El modelo propuesto permite la descripción de cualquier holón en su doble vertiente "jánica" y puede ser formalizado como una dupla:

$$\langle \text{HOLON} \rangle ::= \langle \langle \text{HOLON/T} \rangle \langle \text{HOLON/P} \rangle \rangle$$

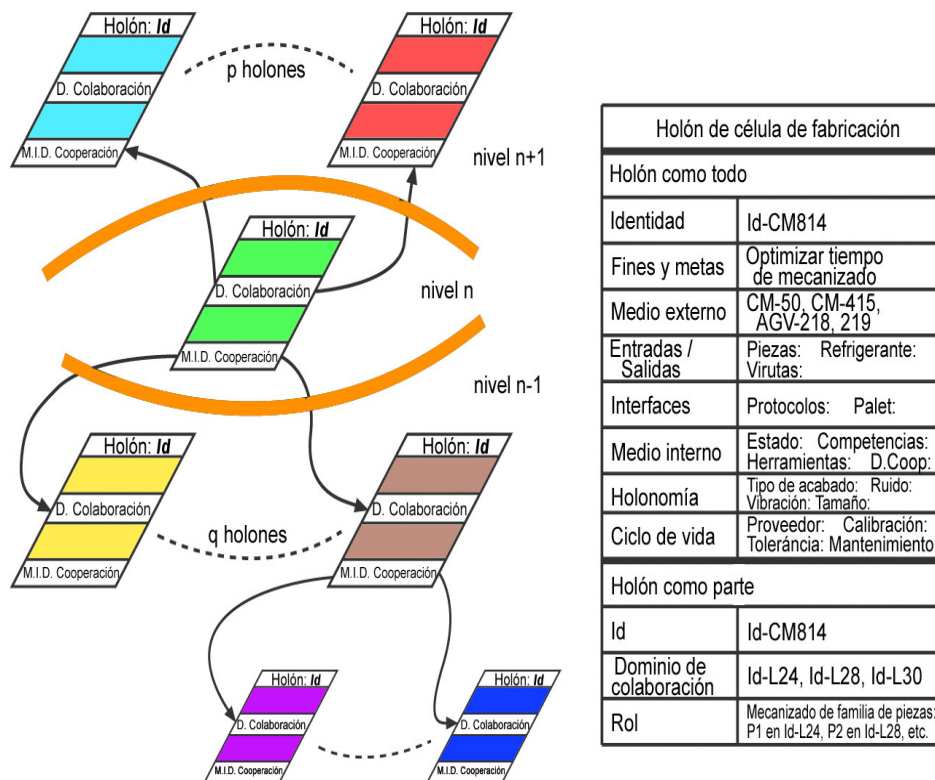


Figura 3. Especificación del holón como parte.

- ◇ HOLON/P. Hace referencia al holón como parte integrante de una o varias holones, a través de relaciones de coor-subordinación con las entidades holónicas de nivel n y/o n+1. El conjunto de holones en las que se integra el holón como parte constituye su dominio de

colaboración DColab, El Holón como parte se puede especifica mediante la Figura 3 y modelar como una dupla:

<HOLON/P> ::= << Id Holón/P> <Dominio de Colaboración>>

<Id Holon/P> ::= <Identificador de todo holón que lo distingue de forma única en una holarquía>

<DColab> ::= << Holarquías en la que colabora o presta servicios el holón> <Conjunto de roles requeridos por las holarquías de pertenencia>>

◊ HOLON/T. Constituye un todo integrador y resultante de las relaciones de supraordenación o coordinación entre los holones de los niveles n y/o n-1 como se observa en la Figura 2, las cuales constituyen su holarquía interna. Éste puede ser modelado mediante la matriz de la Figura 4 y ontológicamente especificado como una tripla integrada por los siguientes elementos:

<HOLON/T> ::= << Id. Holón/T> <Conjunto de estados de Variedad > <Función de evolución de variedad> <Grado de generalidad>>

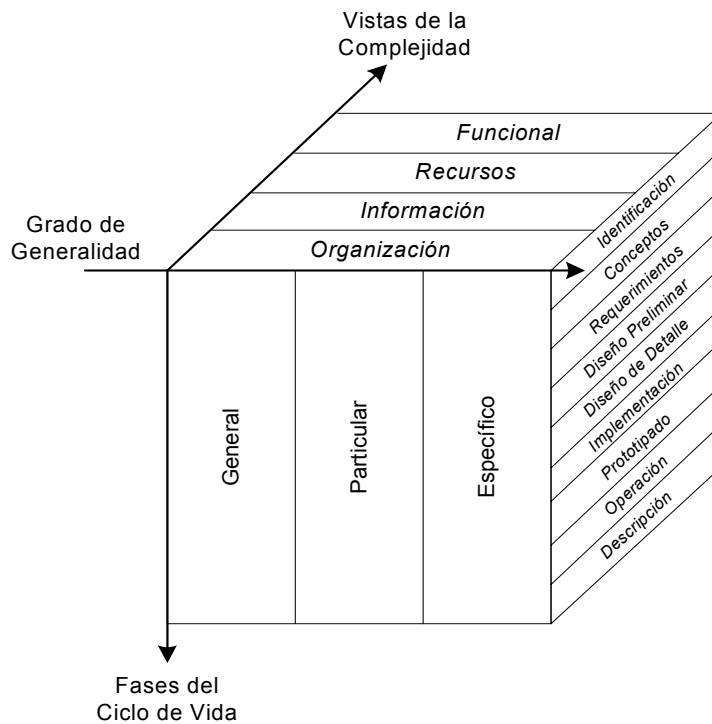


Figura 4 Especificación del holón como todo.

El objetivo macroergonómico en el diseño de una Empresa o Sistema de Fabricación Holónico, se garantiza estableciendo unas interfaces que integren las vistas de la variedad del Holón como todo, bajo criterios de mínima carga física, cognitiva y tensión sociocognitiva.



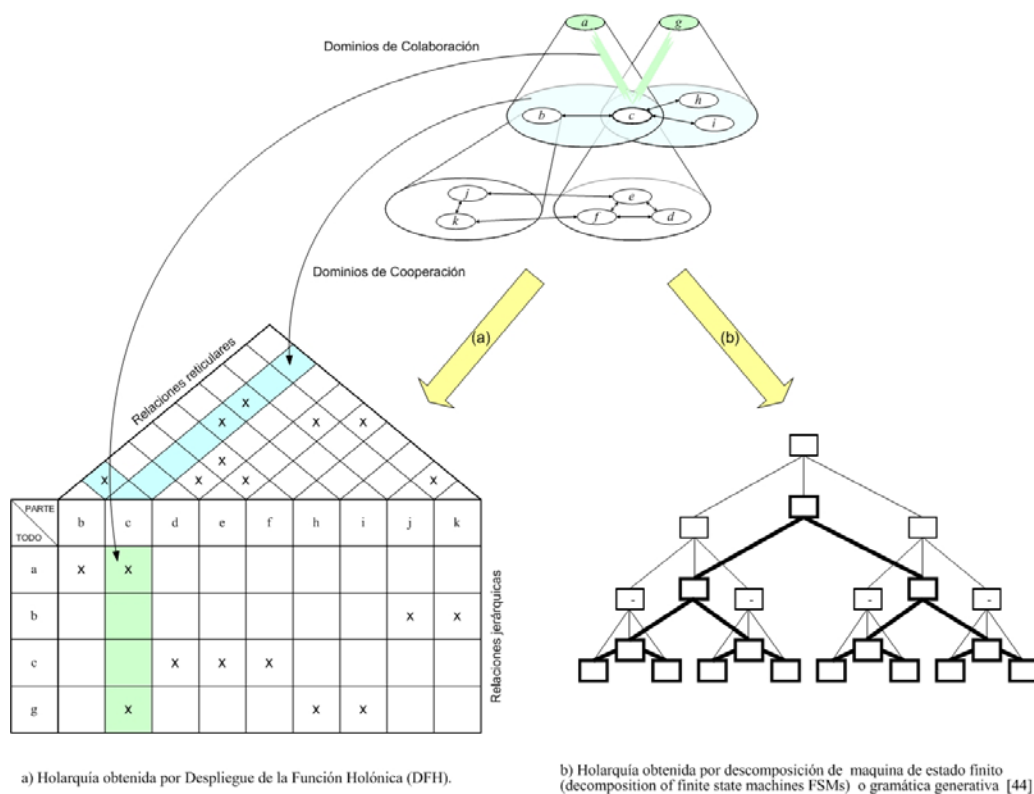


Figura 5. Especificación de la holarquía mediante la matriz de función holárquica.

Partiendo de lo propuesto por Koestler sobre OJAA y de las proposiciones relativas a la holarquía, podemos formular a modo de síntesis, y para su proyección en diseño de sistemas holónicos, la siguiente definición y formalización de holarquía.

- Definición 3. Holarquía. Una holarquía es un conjunto de holones que pueden cooperar para obtener un objetivo, la misma se obtiene por una estructura arborescente y/o reticular de holones y de procesos que constituyen su canon y su estrategia pública y privada, la cual impone límites a cada uno de los holones. Esta está presente en cualquier nivel de análisis, que va desde el universo a la partícula más elemental. La holarquía puede ser modelada mediante la matriz de despliegue holónica, Figura 5.

## PROCESO DE DISEÑO Y DESARROLLO DE UN SISTEMA SOCIOTÉCNICO MACROERGONÓMICO HOLÓNICO

El proceso de diseño y desarrollo de una Empresa o Sistema de Fabricación Holónico como el de la Figura 6, esta constituido por las siguientes fases:

a) Análisis del holón como parte. Este análisis constituye la vinculación vertical del holón a distintas holarquías y sus encadenamientos laterales (reticulares). Esta fase comporta:

- Caracterización de Holón/holarquías de escenarios y demandas del entorno.
- Establecimiento del dominio de colaboración.
- Fijar identificador de holon que le confieran unicidad en la holarquía.

b) Síntesis del holón como todo. Permite contemplarlo a nivel jerárquico, y en el nivel descendente con los subholones que integra, estableciendo los vínculos descendentes (arborescencia). El proceso de síntesis del holón como todo se conduce mediante la el matriz de síntesis holónica.

- Caracterización funcional del Holón como todo.
- Establecimiento de su holarquía interna mediante MDH.
- Establecimiento de dominios de cooperación.
- Diseño del dominio de cooperación bajo los criterios de sostenibilidad
- Especificación de las estrategias y canon holónicas.

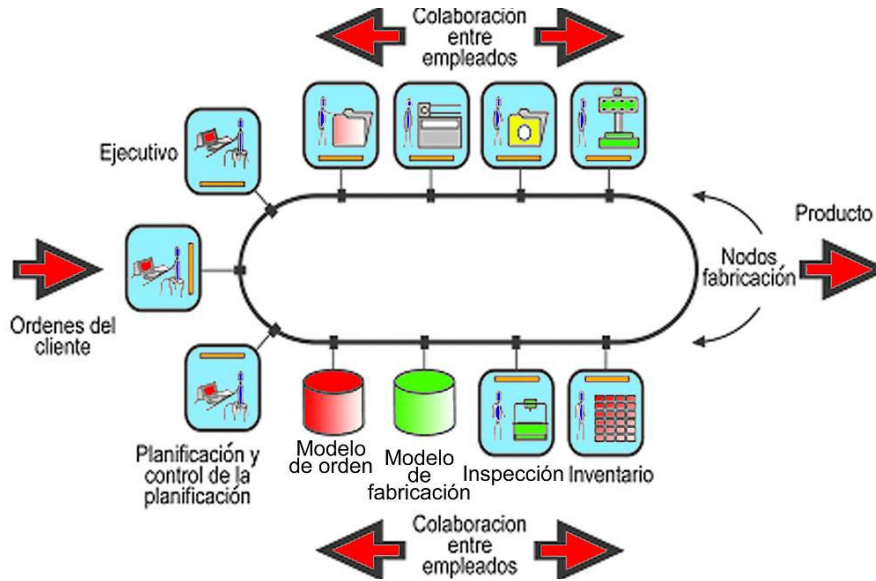


Figura 6. Conceptualización del sistema de información de un holón de fabricación.

c) Implementación tecnológica del holón. La implementación tecnológica de la Empresa y de su SF se conduce mediante una estrategia de diseño Topo-down y Bottom-up, partiendo de los objetivos estratégicos se conciben la holarquía de procesos, que permitirán la concepción y el diseño de los niveles inferiores de la holarquía que habrá que validar mediante estrategia Bottom-up. En el caso de los holones inferiores se mapean del siguiente modo.

- Elección del tipo de holón y su dominio de colaboración.
- Identificar sus competencias.
- Establecimiento de los objetos, su canon y estrategias.
- Establecimiento de su dominio de cooperación.

d) Validación y verificación del sistema. Tras la fase de implementación tecnológica del Holón, en cada nivel holárquico, se ha de proceder a:

- Test de verificación.
- Test de validación.

## MATRIZ DE DISEÑO SOSTENIBLE

La sostenibilidad de una Empresa o Sistema de Fabricación tiene tres vertientes: social, ambiental y económica. Circunscribiéndonos a la sostenibilidad social, en su aspecto ergonómico y macroergonómico con distinto grado de concreción, tendremos: macroergonomía a nivel de holón de Empresa o SF, ergonomía a nivel de

departamento o célula de fabricación, y ergonomía de interfaz de usuario a nivel de Holón de máquina.

Para conducir todo el proceso de diseño e implementación a lo largo del ciclo de vida del Holón y el grado de generalidad, se propone la matriz de diseño sostenible que se recoge en la Figura 7.

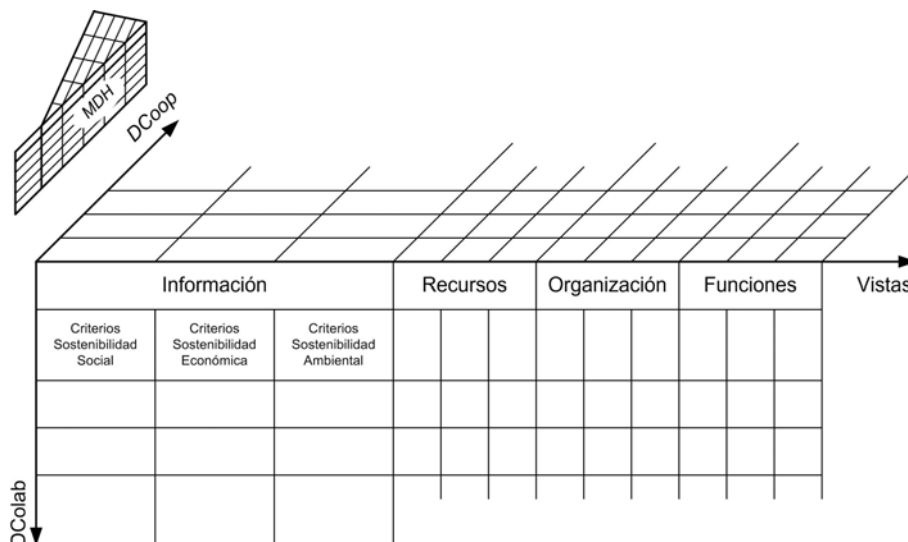


Figura 6 Matriz de diseño sostenible.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por la Junta de Andalucía (III Plan Andaluz de Investigación).

## REFERENCIAS

1. Luis, C.J.; Carrilero, M.S.; Marcos, M. (1998, Septiembre). *Sistemas de Fabricación Holónicos*. IMHE.
2. Aguayo, F. (2003). Diseño y fabricación de productos en sistemas holónicos, Tesis Doctoral, Universidad de Cádiz, Cádiz.
3. Ash, M.; Genaidy; Karwowski, W. (2003, Enero). Human performance in lean production environment. Critical assessment and research framework, *flexible manufacturing systems*, (pp. 317-330)
4. Ding-Yu Lin, Sheue-Ling Hwang, (1998, Diciembre), The development of mental workload measurement in *flexible manufacturing systems*, (vol. 8, issue 1, p 41-62).
5. H. W. Hendrick, B.M. Kleiner, (2000), *Macroergonomics: An Introduction to work systems Design*, Human Factors and Ergonomics Society.
6. A. Koestler, (1981), *The ghost in the machine*, The Danube Edition, London.
7. A. Koestler, Jano, Ed. Debate, Madrid, 1981.
8. A. Koestler, (1976), *The ACT of creation*, The Danube Edition, London.
9. A. Koestler, (1969), *Beyoun reductionism*, Actas de una conferencia sobre jerarquías celebrada en Austria, Hutchinson, Londres.