



IV JORNADAS
sobre Tecnologías y Soluciones para la
AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL



1ª SESIÓN



LUNES 15, 17:10-18:20

**Del control inteligente al control
cognitivo artificial en la
automatización de procesos de
mecanizado**

Ponente:



- **D. Rodolfo Haber**
(Investigador, CSIC-UPM)

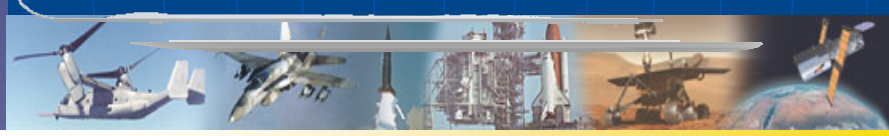


GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN



**Estado Actual y
Perspectivas**



Rodolfo Haber Guerra
Científico Titular del CSIC
Profesor Asociado de la UAM
Rodolfo.Haber {@car.upm-csic.es, @uam.es}

Índice

- ❖ *Introducción*
- ❖ *Estado actual y líneas de evolución*
- ❖ *Líneas de investigación futura*
 - a) *Áreas estratégicas de investigación*
 - b) *Líneas de investigación futura. Perspectiva personal*

3-53

IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la Automatización Industrial, 10-11 DE OCTUBRE



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE CIENCIA
E INNOVACIÓN



Introducción

Inteligencia Artificial (IA): “El estudio de cómo programar computadoras que posean la facultad de hacer aquello que la mente humana puede realizar” (M. Minsky, 1956).

El control automático se puede considerar como la tecnología invisible: “una red de información que toma decisiones acerca de cómo gobernar y controlar un sistema de un modo autónomo” (Åström, 1999).

Automática: Ensayos sobre Automática. Su definición. Extensión teórica de sus aplicaciones. **Vigencia y contemporaneidad** (L. Torres Quevedo, 1914).

Toma de decisión inteligente en el control:

[...] *La función fundamental del órgano de control es el discernimiento entre las diferentes opciones de actuación que se presentan [...].*

Conjunción de la Automática y la Inteligencia Artificial. Materialización pragmática y útil a través del desarrollo de los llamados **sistemas inteligentes en la automatización.**

4-53

IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la Automatización Industrial, 10-11 DE OCTUBRE

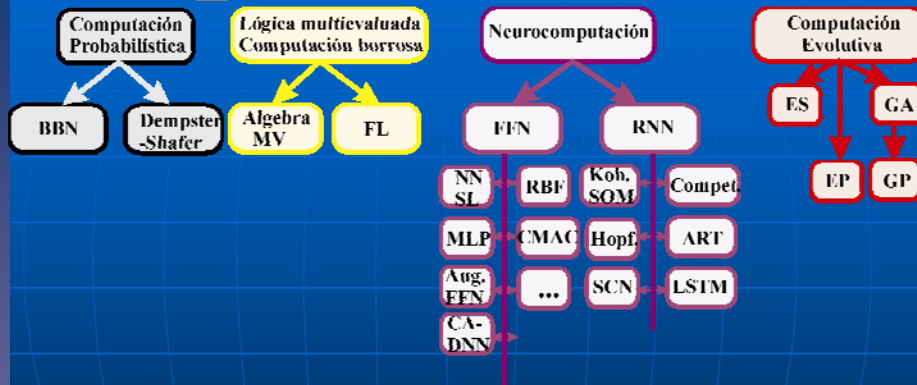


GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE CIENCIA
E INNOVACIÓN



Clasificación



Clasificación y Definiciones

T. Munakata, Springer Verlag, 1998.

P. Bonissone, Proc. of IEEE 87(9) pp. 1641-67 (1999).

5-53

IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la Automatización Industrial, 10-11 de mayo 2010

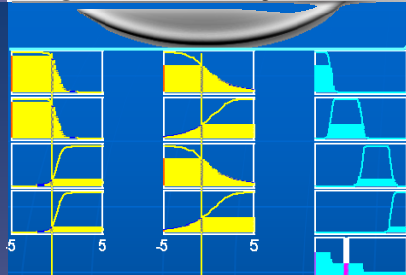


GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN



Lógica Borrosa y Neurocomputación



Lógica Borrosa (Zadeh, 1965):

Faceta **lógica** (genealogía de lógica multivaluada, representación de conjunto con fronteras indefinidas).

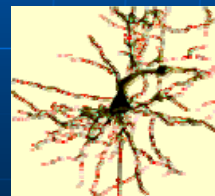
Faceta **relacional** (representación y uso de relaciones borrosas).

Faceta **epistémica** (utilización en los sistemas y bases de datos borrosas basadas en conocimiento). [<detalles>](#)

Red Neuronal Artificial (Haykin, 1999):

Procesador paralelo masivo y distribuido con una propensión natural a almacenar conocimiento y tenerlo disponible para su utilización.

Redes anticipativas, redes recurrentes y las máquinas de soporte vectorial (Vapnik, 1995). [<clasificación>](#)



6-53

IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la Automatización Industrial, 10-11 de mayo 2010



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN

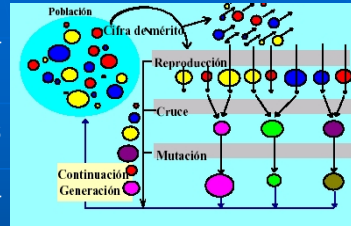


Computación Evolutiva

Según (De la Cruz, 2003):

Algoritmos genéticos (GA): Modelan la evolución a nivel de propagación de genes.

Programación genética (GP): Representación de árboles dinámicos en lugar de vectores con longitud fija. Cruce: intercambia sub-árbol de cada padre. No se utiliza mucho la mutación (Koza,1992).



Programación evolutiva (EP): Emplea un modelo de la evolución similar a un grupo de especies que compiten por un recurso común. No se hace cruce sino mutación (Fogel,Owen&Walsh,1966).

Estrategias evolutivas (ES): Modelan la forma en que la evolución optimiza los individuos para aprovechar mejor su entorno particular (Rechenberg,1973).

[...] todas mantienen una población de soluciones posibles, imponen cambios aleatorios a dichas soluciones, e incorporan selección para determinar que soluciones deben mantenerse en el futuro [...] (Fogel).

7-53

IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la Automatización Industrial, 20-21/07/2010



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN



Procesos de fabricación: qué, por qué y para qué?

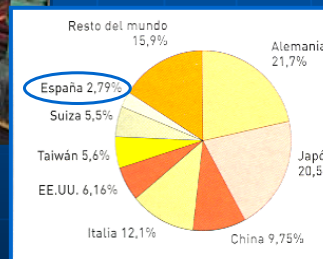
Los procesos de mecanizado constituyen una **etapa esencial de los proceso de fabricación**, ya que son los **procesos más intensamente utilizados y los más críticos**.

• Los sistemas inteligentes en la automatización son esenciales para alcanzar cambios cualitativos de los niveles productivos en los procesos de fabricación.

• Un 10% de inversión repercute en más de un 100% de valor añadido.



- Sector aeronáutico español: 4.203 M€.
- 0,4% del PIB del 2007.
- Empleo: 29.521+10.000 (indirectos).



España: líder a nivel mundial en este campo

8-53

IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la Automatización Industrial, 20-21/07/2010



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN



Proceso de mecanizado y CNC

Mecanizado: conjunto de procesos debido al movimiento relativo entre una herramienta y una pieza, cuyo resultado es el arranque de material o la deformación para obtener la forma deseada en la pieza o producto.

Mecanizado inteligente: Procedimiento computacional eficiente desarrollado a partir de la combinación de una o más técnicas de Inteligencia Artificial y criterios de expertos, con uno o más niveles de resolución, que básicamente manipulan las condiciones de corte con el objetivo de monitorizar el estado de la herramienta de corte, la calidad superficial y optimizar la productividad a través de mayores tasas de arranque de material (Haber et al., 1998).



Control Numérico por Computador (CNC): Dispositivo que gobierna todas las acciones de una máquina haciendo que ésta desarrolle una secuencia de operaciones y movimientos en el orden previamente establecido por el programador (Alique, 1981).

9-53

IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la Automatización Industrial, 10-11/07/2010



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACION



Clasificación



10-53

IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la Automatización Industrial, 10-11/07/2010



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACION



¿Por qué sistemas inteligentes en la automatización [...]?

- Procesos de una **alta complejidad** (e.g., fenómenos caóticos en el proceso de corte), comportamiento **no lineal** (e.g., vibraciones autoexcitadas) y **variable en el tiempo** (e.g., desgaste de útiles de corte).
- **Información imprecisa e incompleta** (sensorial, procesos).
- Producen **cambios cualitativos** en los procesos productivos. Mejora de la eficiencia.



El **modelado** y el **control** a través de los **sistemas inteligentes** se puede alcanzar con adecuadas prestaciones en escenarios complejos, y sin necesidad de las representaciones formales tradicionales.

11-53

IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la Automatización Industrial, 20-21/07/2010



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE CIENCIA
E INNOVACIÓN



Mecanizado inteligente

El **mecanizado inteligente** (SMPI, 2004). Realización del mecanizado a través de una máquina herramienta **cualitativamente superior**:

- ❖ Conozca sus propias capacidades y tome la decisión si puede realizar una determinada tarea o no.
- ❖ Obtenga una descripción genérica de la pieza a fabricar, la descomponga automáticamente en las operaciones de mecanizado necesarias, y determine los pasos necesarios para su fabricación, herramienta de corte, dispositivos de fijación, etc.



- ❖ Monitorice el proceso de mecanizado y ajuste los parámetros en tiempo real.
- ❖ Nunca se rompa (capacidad de auto-diagnóstico y de parar en caso de un fallo inminente).
- ❖ Sea capaz de comunicarse e interactuar de forma transparente con otra máquina herramienta.

12-53

IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la Automatización Industrial, 20-21/07/2010



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE CIENCIA
E INNOVACIÓN



Introducción

- ❖ *Introducción*
- ❖ *Estado actual y líneas de evolución*
- ❖ *Líneas de investigación futura*
 - a) *Áreas estratégicas de investigación*
 - b) *Líneas futuras de investigación. Perspectiva personal*

13-53

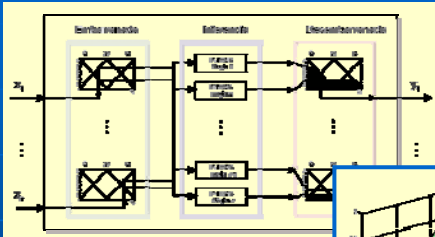
IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la Automatización Industrial, 10-11/07/2010

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN

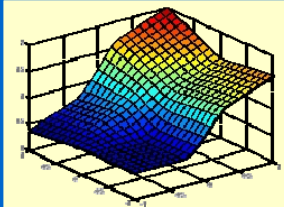
CSIC

Control borroso y control neuronal (I)

Grandes progresos en la fundamentación teórica.



- ❖ **PID no lineal con ganancias variables** (Haj&Ying, 2003).
- ❖ **Estabilidad** (Cuesta et al. 1999, Matia et al., 2002, Haber et al., 2003, Andujar et al., 2004).




- ❖ **Nuevas aplicaciones** en el sector **naval** (Santos et al., 2005), **automóvil** (García-Rosa et al., 2002), industria del **cemento** y del **acero** (Galán et al., 2000), **aviación** (Sugeno et al., 2003).

14-53

IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la Automatización Industrial, 10-11/07/2010

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN

CSIC

Control borroso y control neuronal (II)

Perfeccionamiento de las redes neuronales.



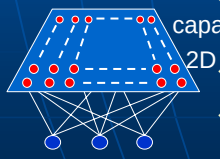
❖ Fundamentos teóricos para el diseño de controladores neuronales basados en el control por modelo interno (Cabrera&Narendra, 1999).

❖ Redes neuronales dinámicas aditivas continuas (CA-FFN) (Griñó,Cembrano&Torras, 2000).



❖ Red neuronal de memoria a corto y largo plazo (LSTM) (Gers&Schmidhuber,2002).

❖ Red neuronal anticipativa aumentada (Aug FFN) (Selmic&Lewis, 2002).



❖ Red neuroborrosa (Shann&Fu,1995), (Kim&Kasabov, 1999).

❖ Perfeccionamiento del CMAC (Abdelhammed, 2002).

❖ Estabilidad sistemas de control neuronal (E.N. Sánchez&Pérez,2003).

15-53

IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la Automatización Industrial, 20-21/07/2012



GOBIERNO DE ESPAÑA

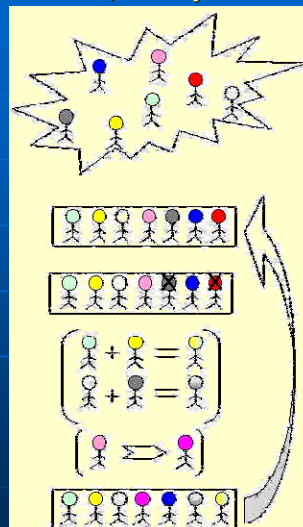
MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN



Computación evolutiva en la Automatización

Algunos problemas abiertos (Flemming&Purshouse, 2002):

- ❖ Los algoritmos genéticos requieren un análisis matemático riguroso.
- ❖ No existe una metodología general de aplicación. Una mala elección de los parámetros puede producir muy pobres resultados.
- ❖ Cuando existe más de una función de aptitud (cifra de mérito) no está tan claro cómo llevar a cabo la optimización. Se requiere profundizar en la optimización multi-objetivo.



16-53

IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la Automatización Industrial, 20-21/07/2012

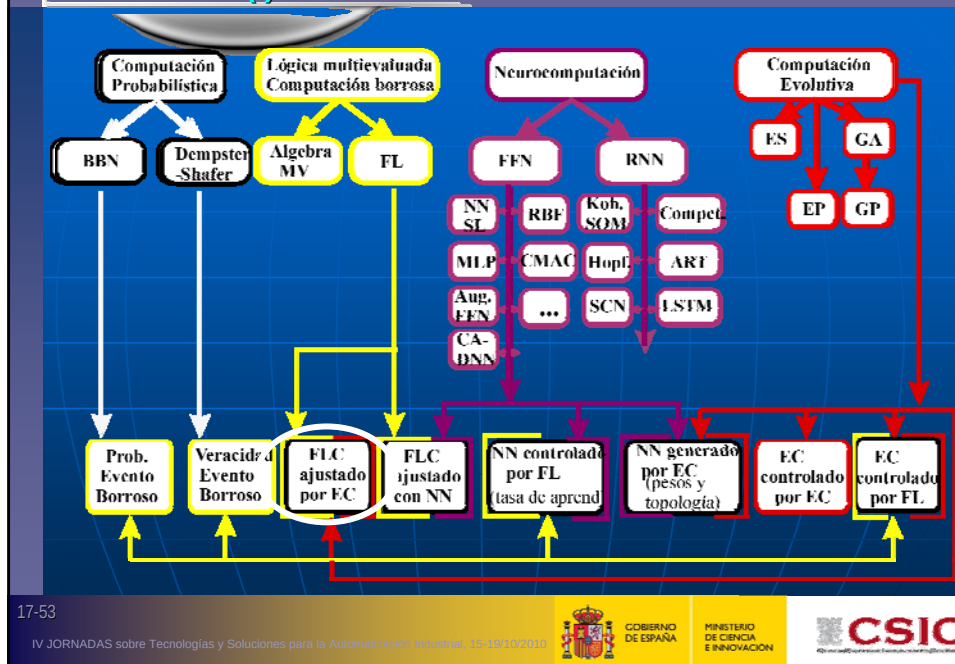


GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN



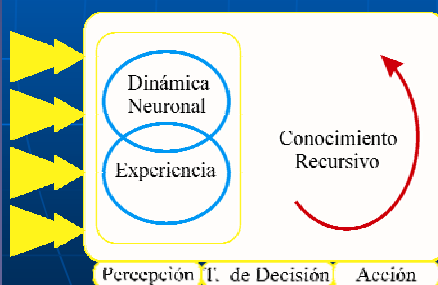
Hibridación (I)



Hibridación (II)

Hibridación. Riqueza en el repertorio para representar los sistemas, ajustar sus parámetros e iterar los procesos (Bonissone et al., 1999):

- Controladores borrosos sintonizados con redes neuronales.
- Controladores borrosos sintonizados con algoritmos evolutivos.
- Redes neuronales ajustadas por medio de sistemas borrosos.
- Redes neuronales ajustadas por medio de algoritmos evolutivos.
- Computación evolutiva controlada por sistemas borrosos.



Paradigma: Sistemas con inteligencia estructural

(Fukuda&Kubota,1999):

= FS + NN + EC

= representación+aprendizaje+ajuste/optimización

= **sistemas neuroborrosos evolutivos.**

18-53

IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la Automatización Industrial, 20-21 de octubre 2010



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN



CSIC

CNC y máquina herramienta

- ❖ **Nivel macro:** desde la empresa hasta la fábrica individual que abarca unidades de negocios que supervisan el funcionamiento de grupos de máquinas.
- ❖ **Nivel micro:** la máquina en sí misma, que incluye la máquina herramienta y los dispositivos de control.



19-53

IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la Automatización Industrial, 20-21/07/2010



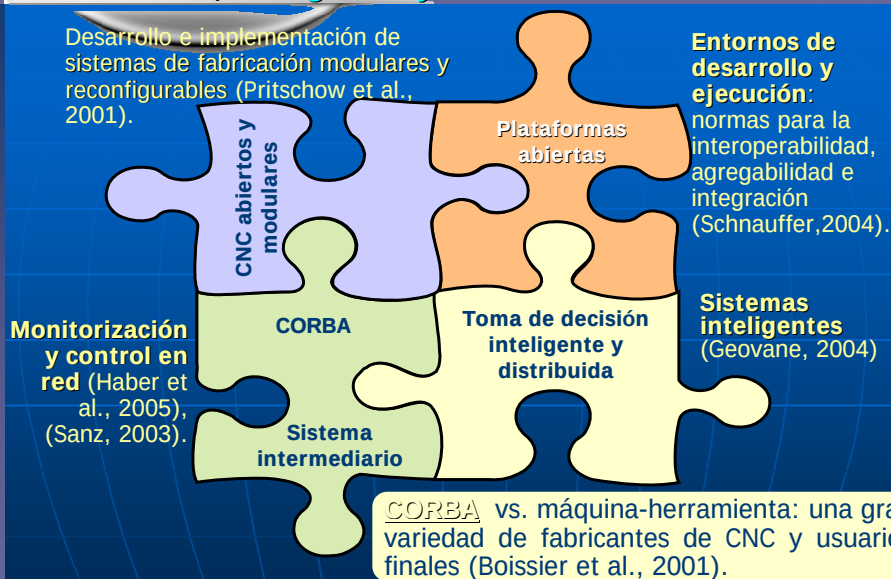
GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN



CNC abiertos, inteligentes y distribuidos

Desarrollo e implementación de sistemas de fabricación modulares y reconfigurables (Pritschow et al., 2001).



20-53

IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la Automatización Industrial, 20-21/07/2010



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN



Sistemas inteligentes en el modelado [...]

Modelado, Monitorización y Supervisión	En relación con	Autores
Modelo basado en algoritmos genéticos para la predicción de la fuerza de corte en operaciones de fresado	Herramienta	Milferner et al. 2005
Modelos teóricos y experimentales del proceso de rectificado basados en la LB y RNA.	Calidad Superficial	Maksoud y Atia, 2004
Estimación de la condición de la herramienta de corte utilizando SOM en torneado .	Herramienta	Rao y Srikant, 2004
Monitorización de torneado basada en: filtrado de características redundantes por medio agrupamiento borroso, y fusión sensorial y utilizando RNA	Herramienta	Fu y Hope, 2004
Modelo borroso TSK para la estimación de las condiciones de rectificado en las que se produce el "burns out".	Herramienta	Ali y Zhang, 2004
Sistema borroso en el fresado para la supresión de las vibraciones	Vibraciones	Liang, et al., 2004
RNA anticipativa en operaciones de fresado .	Herramienta	Haber y Alique 2003

Modelado clásico Control clásico y robusto Acabado y vibraciones

21-53

IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la Automatización Industrial, 20-21 de octubre 2010



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN



Sistemas inteligentes en la automatización [...] (I)

	Sistemas Inteligentes en la Automatización	Proceso	Autores
Mecanizado convencional	Optimización de la trayectoria utilizando colonias de hormigas.	Punzonado y corte con láser	Wang y Xie, 2005
	Control neuroborroso del esfuerzo de corte basado en el control por modelo interno.	Fresado a alta velocidad	Haber et al., 2005
	Control neuroborroso de la deflexión de la pieza y compensación de las deformaciones.	Rectificado	Ding et al., 2004
	RNA para generar programas piezas en el taladrado.	Taladrado	Balic, 2004
	Control borroso de la fuerza de corte utilizando el aporte basado en caja gris.	Torneado	Liang RJ et al., 2005
Mecanizado especial	Control borroso de la conductividad eléctrica de la disolución (simulación).	Mecanizado electroquímico	Skrabalak et al., 2004
	Control neuroborroso de la distancia entre los electrodos.	Electroerosión	Behrens y Ginzler, 2003
	MLP para el modelado del proceso.	Mecanizado químico	Shi, Schillings y Boyd, 2004
	MLP para el modelado del proceso.	Micromecanizado con láser	Yousef et al., 2003
	ANFIS para predecir la rugosidad superficial	Pulido mecánico-químico	Lin y Liu, 2002

22-53

IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la Automatización Industrial, 20-21 de octubre 2010



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN



Sistemas inteligentes en la automatización [...] (II)

Control borroso autosintonizable	Haber et al., 1998
Control borroso con ajuste basado en algoritmos genéticos.	Lin&Lee, 1999
Control adaptativo borroso del esfuerzo de corte	Liu et al., 1999
Estudio comparativo de controladores basado en IA y clásicos	Liu 2001
Control borroso de la corriente consumida en el husillo	Yang et al., 2002
Control borroso embebido en CNC abierto	Haber et al., 2003
Regulador neuronal basado en el control por modelo interno	Haber&Alique, 2004
Control basado redes borrosa de base radial (FRBF)	Jiménez et al., 2004
Control borroso adaptativo de posición	Jee&Koren, 2004
Control borroso autosintonizable del par de corte	Haber&Alique, 2005

Fresado convencional

Fresado de alto rendimiento

Más sistemas inteligentes en otros procesos

23-53

IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la Automatización Industrial, 20-21 OCT 2010



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACION

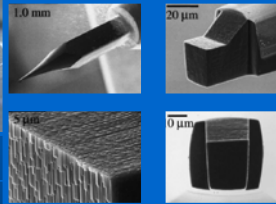


Desafíos de la automatización en el mecanizado

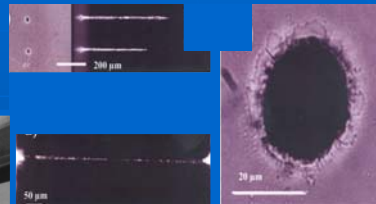
Mecanizado de alto rendimiento



Micromecanizado

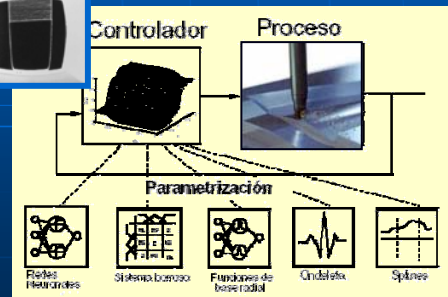


Nanomecanizado



Temas esenciales tales como:

- ❖ El **modelado** de nuevos procesos incluyendo el modelado experimental.
- ❖ El **control inteligente**.
- ❖ La **monitorización y la supervisión en red**.



24-53

IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la Automatización Industrial, 20-21 OCT 2010



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACION



Procesos de mecanizado. Estado actual

Mecanizado de alto rendimiento: optimización del mecanizado limitado por la pieza-material a mecanizar y las herramientas y máquinas (CAD/CAM-CNC) disponibles. Esto puede suponer mecanizar a velocidades de corte entre 5 y 10 veces superiores a las que se utilizan de manera convencional.

Micromecanizado y Nanomecanizado: construcción de objetos mediante el corte o conformado con especificaciones 10^{-6} a 10^{-9} m utilizando una secuencia de operaciones (e.g., láser ultrarrápido o reacciones químicas) llevadas a cabo por maquinaria no biológica.

Característica	Mecanizado convencional	Micromecanizado	Solución Química	Bioquímica	Nanomecanizado
Precisión Molecular	No	No	Si	Si	Si
Automatización	Si. Avanzada	Si. Clásica	Incipiente	Incipiente	Incipiente
Escala típica	1 mm	1 μ m	0.3 nm	0.3 nm	0.3 nm
Escala del producto típica	1 m	10 mm	1 nm	10 nm	100 nm
Tasa típica de defectos	10^{-4}	10^{-7}	10^{-2}	10^{-11}	10^{-15}
Tiempo de ciclo	1 s	100 s	1000 s	10^{-3} s	10^{-6} s
Productos descritos por	Materiales, formas y acabados	Materiales, formas y acabados	Átomos y enlaces	Átomos y enlaces	Átomos y enlaces

25-53

IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la Automatización Industrial, 20-21 DE FEBRERO



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN



Nanomecanizado. Estado actual (I)

Nanomecanizado: predominan las propiedades de la superficie y las fuerzas. La dinámica de una nanopartícula está determinada por fuerzas intermoleculares no lineales tales como las de van der Waals, Casimir, de doble escala, estéricas, hidrófobas, etc., **fuerzas que son despreciables a nivel macro.**

Desde el punto de vista del control:

Dinámicas no lineales y variantes en el tiempo.

Cambios bruscos e incertidumbre en los parámetros del nanomecanizado.

Dinámicas muy rápidas del pico al femtosegundo.

Gran sensibilidad a los cambios de los parámetros del nanosistema.

Información sensorial muy limitada.

Rango y precisión de actuadores muy restringida.

Por tanto, los controladores inteligentes, adaptativos y autosintonizables son muy interesantes para el control de altas prestaciones que requieren los procesos de nanomecanizado (Siti, 2005).

26-53

IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la Automatización Industrial, 20-21 DE FEBRERO



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN



Nanomecanizado. Estado actual (II)

¿Qué está haciendo la comunidad científica afín a la Automática?

Modelado. Perfeccionamiento de los sistemas de medición y actuación.

Utilización del método de Monte Carlo para simular el transporte de las emisiones de electrones (Wong et al., 2004).

Estimación de la fuerza de corte en el nanomecanizado utilizando microscopía atómica de fuerza (Chang et al., 2004).

Mejora de los procesos de nanomecanizado.

Un método basado en emisiones de iones enfocados y microscopía de barrido de túnel para cortar, adelgazar y soldar nanotubos de carbono (Raghuveer et al., 2004).

Diseño de sistemas de control.

La mayoría de los sistemas disponen de controladores muy elementales que ofrecen prestaciones insuficientes. Para la automatización y para el control inteligente en concreto, **se ha iniciado una etapa muy fecunda.**

Nanomecanizado y control

27-53

IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la Automatización Industrial, 20-21 DE FEBRERO



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE CIENCIA
E INNOVACIÓN



Índice

- ❖ *Introducción*
- ❖ *Estado actual y líneas de evolución*
- ❖ *Líneas de investigación futura*
 - a) *Áreas estratégicas de investigación*
 - b) *Líneas futuras de investigación. Perspectiva personal*

28-53

IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la Automatización Industrial, 20-21 DE FEBRERO



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE CIENCIA
E INNOVACIÓN



29-53

IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la Automatización Industrial, 20-21 DE OCTUBRE

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN
CSIC

- ❖ *Introducción*
- ❖ *Estado actual y líneas de evolución*
- ❖ *Líneas de investigación futura*
 - a) *Áreas estratégicas de investigación*
 - b) *Líneas de investigación futuras. Perspectiva personal*

30-53

IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la Automatización Industrial, 20-21 DE OCTUBRE

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN
CSIC

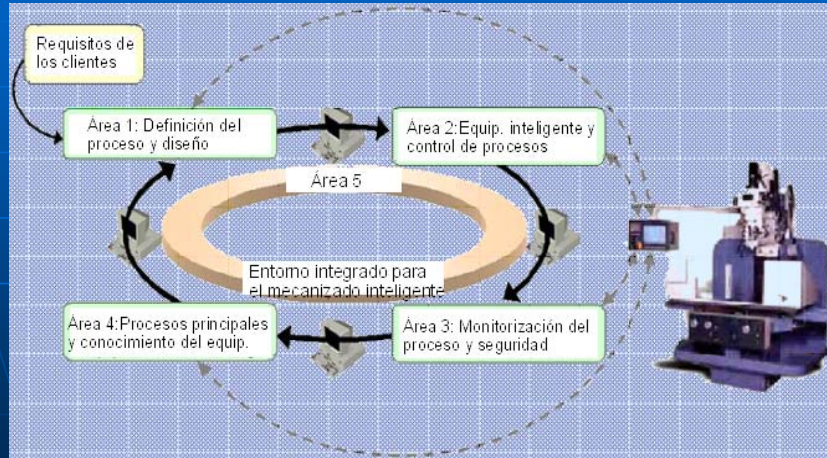
Líneas prioritarias de investigación

- ❑ **VII Programa Marco de la Unión Europea:** tecnologías de la información, desarrollo de sistemas inteligentes distribuidos para el control genérico de los sistemas de producción en arquitecturas abiertas y fiables.
- ❑ **Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica 2008-2011.**
 - Programa Nacional de Diseño y Producción Industrial: [...] *integración de tecnologías con criterios sistémicos: control avanzado de procesos y sistemas* [...].
 - Programa Nacional de Tecnologías Informáticas: [...] *sistemas inteligentes, sistemas distribuidos abiertos*.
- ❑ **Plan estratégico del CSIC.**
 - Área de Ciencia y Tecnologías Físicas: [...] ***sistemas borrosos e inteligencia artificial, aplicaciones avanzadas sobre INTERNET*** [...].

Líneas futuras de investigación: Estados Unidos

Smart Machine Platform Initiative (SMPI) organizada por la **Coalition for Manufacturing Technology Infrastructure (CMTI)** (USA).

Definición de líneas estratégicas 2004-2007 para el **DoD-DARPA-NSF**



31-53

IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la Automatización Industrial, 20-21 de octubre 2010



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN



Área estratégica 5

Área estratégica

Entorno integrado para el mecanizado inteligente

Estándares para las especificaciones de productos e intercambio de datos

Arquitectura de sistemas e interoperabilidad

Los sistemas inteligentes en el mecanizado serán esenciales para alcanzar cambios cualitativos en los niveles productivos.

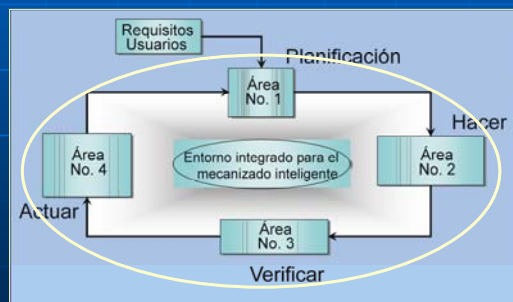
Incremento en la productividad.

Los productos llegarán más rápidamente al mercado.

Ciclos de producción más cortos.

Mejora de la calidad.

Fabricación de piezas y productos más complejos.



32-53

IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la Automatización Industrial, 20-21 de octubre 2010



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN



Índice

- ❖ *Introducción*
- ❖ *Estado actual y líneas de evolución*
- ❖ *Líneas de investigación futura en el perfil*
 - a) *Áreas estratégicas de investigación*
 - b) *Líneas de investigación futuras. Perspectiva personal*

35-53

IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la Automatización Industrial, 20-21/07/2010



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN

CSIC

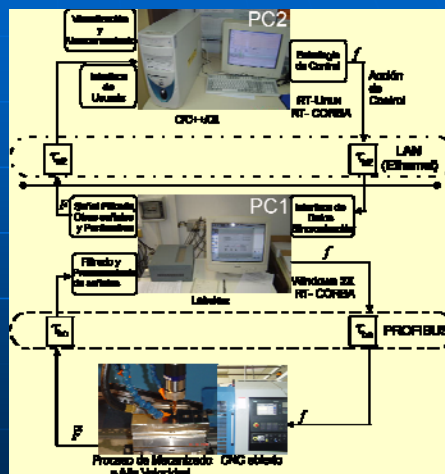
Proyecto COREMAV (2005-2008)

Sistema de control y supervisión en red basado en técnicas de Inteligencia Artificial para optimizar procesos de taladrado a alta velocidad (COREMAV). DPI2005-04298. (2005-2008)

Investigación en la integración de control, comunicaciones y algoritmos computacionales avanzados.

Sinergia:

- ❑ Conocimiento obtenido de la información sensorial (e.g., fusión sensorial y modelado) y del procedente de operadores y técnicos expertos (e.g., verbalización).
- ❑ Técnicas clásicas de control y de Inteligencia Artificial (hibridación)
- ❑ Algoritmos computacionales avanzados en sistemas intermediarios y tecnologías de comunicaciones.



36-53

IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la Automatización Industrial, 20-21/07/2010



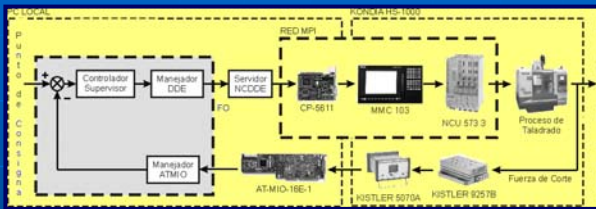
GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN

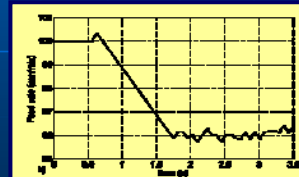
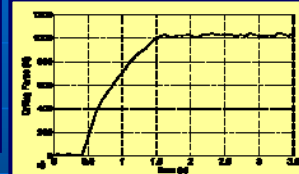
CSIC

Proyecto COREMAV (2005-2008)

Diseño e implementación de sistemas de control inteligentes y red (Profibus, Ethernet, Internet) asumiendo un retardo máximo en la red acotado y conocido.



Ajuste óptimo de sistemas de control neuroborroso utilizando diferentes métodos



Best Paper Award 2007
Manufacturing Engineering Division
American Society of Mechanical Engineering (ASME)

PCT/ES2008/070038
PCT/ES2008/070039

37-53

IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la Automatización Industrial, 10-11/07/2010



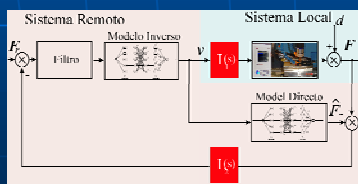
GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN



Proyecto COREFAV (2005-2007)-Nicolás Correa S.A.

•Ensayos industriales en Nicolas Correa S.A. (www.correa.es). 80M€ in 2006.



38-53

IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la Automatización Industrial, 10-11/07/2010



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN



Sistema inteligente y en red para la estimación del balanceo del cabezal (<200nm) y la rugosidad superficial (<100Å)



- ✓ Línea 2 del proyecto CENIT “eEe” y se está integrando en un CNC8070 de Fagor Automation
- ✓ El sistema de control mantiene la potencia del cabezal utilizando técnicas de **Inteligencia Artificial**
- ✓ El mantenimiento de potencia constante se realiza a través del **ajuste de la velocidad de avance** en función de las distintas fases de mecanizado



¿Sistemas de Control Cognitivos Artificiales? (I)

Cientos de trabajos en el campo neuro-*!!

Solo unos pocos trabajos tienen un enfoque sistémico útil desde la perspectiva de la Automática y la Automatización Industrial.

La comprensión y el conocimiento sobre como construir un sistema pseudo-inteligente se ha desarrollado tan rápido en diferentes campos que ha hecho emerger nuevos paradigmas como el de los **sistemas cognitivos artificiales**.

La habilidad de los seres humanos para desarrollar eficientemente tareas cognitivas desconocidas o arbitrarias, nuevas y de elevada complejidad, y luego explicarlas con instrucciones breves, lo que ha motivado a muchos investigadores de áreas de conocimiento como la Automática, las Ciencias de la Computación y la Inteligencia Artificial (IA) a explorar nuevos paradigmas: **del control inteligente al control cognitivo artificial**.

41-53

IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la Automatización Industrial, 20-21 DE OCTUBRO



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN



¿Sistemas de Control Cognitivos Artificiales? (II)

- De este modo, los agentes cognitivos artificiales deben compartir con los seres humanos rasgos clave y principios “cognitivos y neurobiológicos”.

- Durante el control cognitivo ó ejecutivo, el cerebro humano y el de algunos animales procesa una gran variedad de estímulos en paralelo y escogen una acción apropiada (contexto de la tarea), incluso en presencia de conflicto de objetivos y metas.

- De este modo se pasa del control de la atención (aspecto selectivo del procesamiento de la información, habilitándonos para enfocar un objetivo relevante e ignorar uno poco importante) hasta el cambio cognitivo en sí mismo.

- Algunos trabajos interesantes....

42-53

IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la Automatización Industrial, 20-21 DE OCTUBRO



GOBIERNO DE ESPAÑA

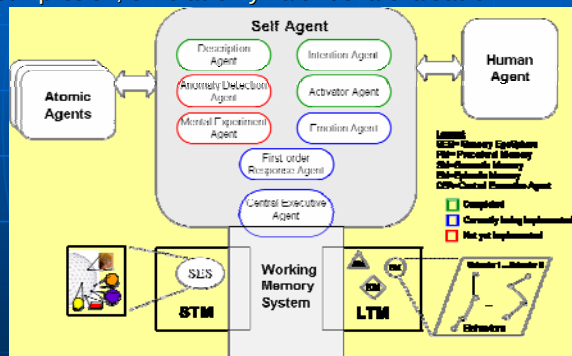
MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN



Algunos trabajos interesantes

Enfoques lejanos todavía a la Teoría de Sistemas y al Control entran de lleno en la representación del pensamiento.

El **pensamiento: subrutinas** como recordar (búsqueda), generalización, comparación, explicación, deducción, organización, inducción, clasificación, formación de concepto, manipulación de imágenes, detección de rasgos, analogía, compresión, simulación y valor de la evaluación.



La mayoría de las teorías de Minsky **no se han desarrollado para reformular los algoritmos.**

Queda por ver si las ideas de **este libro se pueden aplicar en las máquinas reales y su utilidad real en el campo de la Automática.**

Modelo del "yo" (auto-agente + agente humano) de acuerdo con Minsky M., *The Emotion Machine: Commonsense Thinking, Artificial Intelligence, and the Future of the Human Mind*, 2006

43-53

IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la Automatización Industrial, 10-11/07/2010

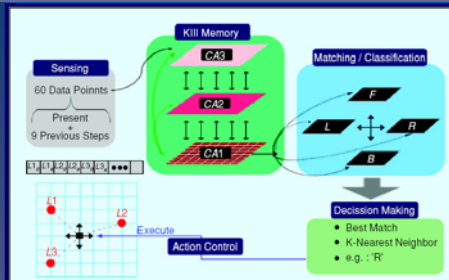


GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN



Algunas implementaciones de modelos cognitivos (¿?)



Aprendizaje y control en el sistema hipocampal KIII

Kozma et al., "The KIV Model—Nonlinear Spatio-temporal Dynamics of the Primordial Vertebrate Forebrain," *Neurocomputing*, pp. 52–54, 819–825, 2003.

Chang H.J. and W.J. Freeman, "Parameter optimization in models of the olfactory neural system," *Neural Networks*, vol. 9, pp. 1–14, 1996.

Modelo KIV del cerebro



44-53

IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la Automatización Industrial, 10-11/07/2010

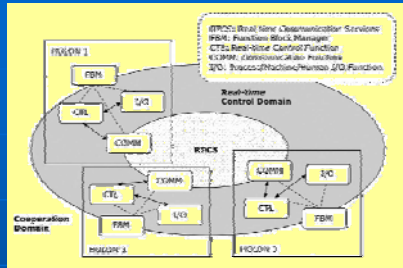


GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN



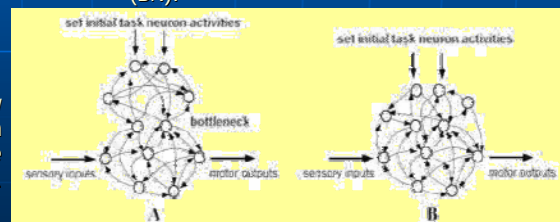
Sistemas Inteligentes de Fabricación?



Una arquitectura para sistemas holónicos de fabricación.

Christensen J. H., "HMS/FB architecture and its implementation," in *Agent-Based Manufacturing: Advances in the Holonic Approach*, S. M. Deen, Ed. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2003, pp. 53–88.

Redes neuronales recurrentes (CTRNN) standard (A) y completamente conectadas (B) en el papel de red de cuello de botella (BN).



Paine R. W. and J. Tani, "How hierarchical control self-organizes in artificial adaptive systems," *Adaptive Behavior*, vol. 13, pp. 211-225, 2005.

45-53

IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la Automatización Industrial, 20-21 de octubre 2010



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACION

CSIC

Algunas iniciativas en marcha ...no todas!!!

España (solo DPI)

The development of a conscious cognitive control system and its embodiment through model-based multi-resolutional predictive reflexive control (Sanz, 2007).

Methodology for the development of distributed industrial control systems through the design of an advanced support tool (Marcos, 2007).

Europa

The μ CRONS Project (*Micro-Holons for Next Generation Distributed Automation and Control*)

The ICEA (*Integrating Cognition, Emotion and Autonomy*) project tackles the development of a cognitive architecture integrating cognitive, emotional and bioregulatory (self-maintained) processes

Otros...

Software and development environments (Vanderbilt University)

Cognitive architectures (Birmingham University)

Consciousness (Imperial College),

Complexity (CALTECH)

Real-time systems (Lund University)

46-53

IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la Automatización Industrial, 20-21 de octubre 2010



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACION

CSIC

Proyecto COGNETCON (2009-2011)

Sistema de control cognitivo en red para procesos de mecanizado de alto rendimiento (COGNETCON). Proyecto DPI2008-01978

- Evolucionar los controladores inteligentes, incorporando estrategias de coordinación que emulen los sistemas cognitivos.



- El sistema de control cognitivo basado en modelos internos tendrá una arquitectura federada con unidades neuroborrosas auto-optimizadas, dotadas de razonamiento inductivo y transductivo y con niveles avanzados de coordinación a través de la red.



- Desarrollo de tecnologías que permitan una fabricación más eficiente y rápida a través de un comportamiento cooperativo, auto-organizado y auto-optimizado de los sistemas de control de procesos.

- El método de diseño de un sistema de control cognitivo en red proporcionará el qué, cómo y para qué en el comportamiento optimizado dirigido a objetivos de un proceso de mecanizado de alto rendimiento

47-53

IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la Automatización Industrial, 20-21 DE OCTUBRE



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN



Proyecto COGNETCON (2009-2011)

Evolucionar los controladores inteligentes a partir de la imitación de la propia evolución de la mente biológica, incorporando estrategias de competición, aspecto clave de los sistemas cognitivos. Para alcanzar estas capacidades, el objetivo final **es el diseño de un sistema de control cognitivo basado en modelos internos:**

con una arquitectura federada (jerárquica y heterárquica),

de unidades inteligentes (unidades neuroborrosas auto-optimizadas),

dotados de razonamiento inductivo y transductivo,

con niveles avanzados de coordinación a través de la red.

El sistema de control tendrá cuatro capacidades básicas -auto- (configurable, aprendizaje, optimizable, adaptable). De esta manera habrá modelos inductivos (todo el conjunto de datos disponibles, visión global) y transductivos (percepciones creativas).

Dos formas opuestas y básicas de coordinación son la cooperación y la competición. Se tratará de eliminar las barreras entre el proceso y el controlador, inherentes al diseño tradicional.

48-53

IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la Automatización Industrial, 20-21 DE OCTUBRE



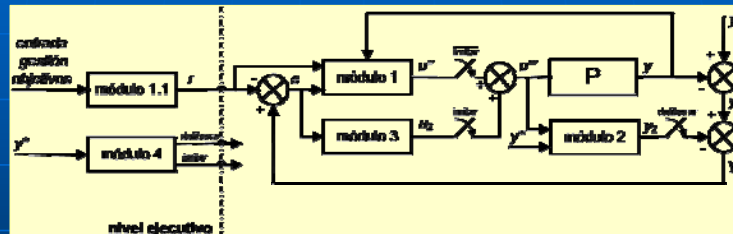
GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN



Proyecto COGNETCON (III): Estrategia 1

El modelo de circuitos compartidos (SCM) (Hurley, 2008): describe, en base a cinco capas, como capacidades humanas como son imitación, deliberación y adivinación del pensamiento (*mindreading*) pueden ser llevadas a cabo gracias a mecanismos subpersonales de control, reflejo (*mirroring*) y simulación.



- La descripción funcional que realiza el modelo de circuitos compartidos se sitúa entre el nivel de la estructura neuronal y el nivel de las percepciones conscientes y de las acciones deliberadas.
- Intenta demostrar la visión filosófica de que es posible tener recursos cognitivos a partir de una percepción activa.

49-53

IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la Automatización Industrial, 20-21/02/2020



GOBIERNO DE ESPAÑA

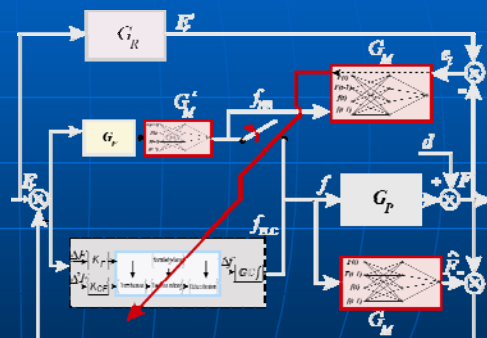
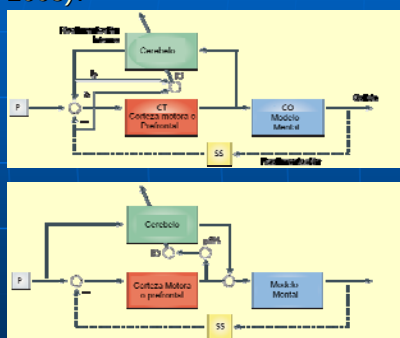
MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN



Proyecto COGNETCON (IV): Estrategia 2

El **nexo entre el paradigma del control por modelo interno y la conectividad cerebro-cerebelo** como base de la inteligencia humana.

El **control por modelo interno** a través de la **conectividad cerebro-cerebelo es un componente único de la inteligencia humana**" (Ito, 2008):



50-53

IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la Automatización Industrial, 20-21/02/2020



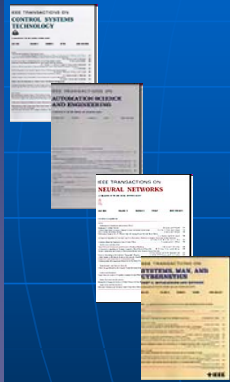
GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN

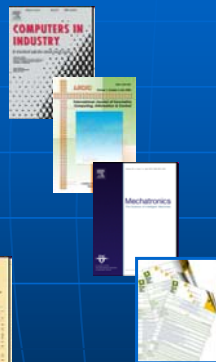


Resultados Científicos y Técnicos

**AUTOMATION
& CONTROL
SYSTEMS:**



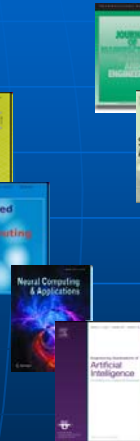
**COMPUTER
SCIENCE AND
CYBERNETICS:**



**COMPUTER
SCIENCE,
INFORMATION
SYSTEMS:**



**COMPUTER
SCIENCE AND
ARTIFICIAL
INTELLIGENCE:**



**ENGINEERING,
MANUFACTURING:**



51-53

IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la Automatización Industrial, 20-21/02/2013



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE CIENCIA
E INNOVACION

CSIC

Conclusiones



Sistemas inteligentes en la automatización

52-53

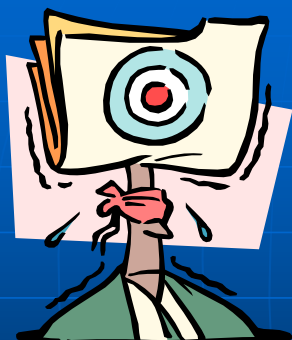
IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la Automatización Industrial, 20-21/02/2013



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE CIENCIA
E INNOVACION

CSIC



*Gracias por todo...
¿Preguntas?*

53-53

IV JORNADAS sobre Tecnologías y Soluciones para la Automatización Industrial, 10-11/07/2012



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE CIENCIA
E INNOVACIÓN



CSIC
Consejo Superior de Investigaciones Científicas