

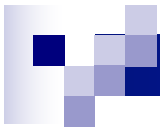


INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA AL CONTROL

Tema 2: Control Inteligente

Dpto.: Arquitectura de Computadores y Automática

Autor: Matilde Santos



CONTROL INTELIGENTE

- CONTROL INTELIGENTE
 - CONTROL CONVENCIONAL VS. CI
- INTELIGENCIA ARTIFICIAL
- TÉCNICAS DE LA IA
- FUTURO

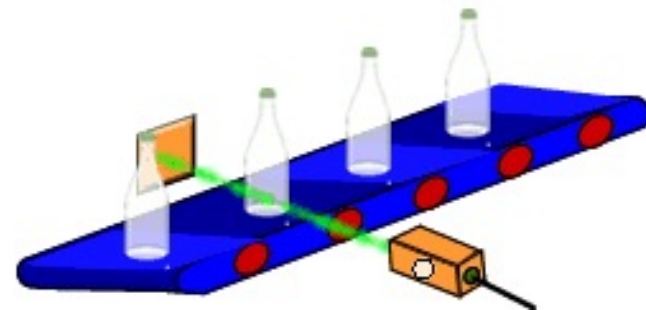


2.1 CONTROL INTELIGENTE

NACIMIENTO DEL CONTROL

Conseguir objetivos de alto nivel

- **Automatización:** el sistema de control pueda reemplazar o auxiliar al operador en algunas tareas
 - gran potencia en el manejo del *conocimiento* que se tiene del proceso
 - habilidades específicas



EVOLUCIÓN DEL CONTROL

- Demanda de la sociedad, de la industria y de la humanidad en general
- Mejores y más sofisticadas soluciones en el área del control
- Sistemas más complejos



CONTROL INTELIGENTE

- El control inteligente: automatización de procesos y sistemas complejos a través de la emulación de la inteligencia biológica
- Busca reemplazar a un humano en una tarea de control (un operador) o se inspira en cómo los sistemas biológicos resuelven problemas y los aplica a la solución de problemas de control





CONTROL INTELIGENTE

- La línea de investigación de Control Inteligente nace con la intención de aplicar al control las técnicas de Inteligencia Artificial, las cuales estaban obteniendo una serie de resultados y se consolidaban como disciplina
- De forma un tanto recíproca, la teoría de control ha influenciado a la investigación en inteligencia artificial (el concepto de "agente" es muy similar al de "regulador")



<http://intranet.ceautomatica.es/en/og/control-inteligente>

■ CONTROL CONVENCIONAL VS. CONTROL INTELIGENTE





Características del Control Convencional

- Típicamente basados en modelos matemáticos (analíticos)
 - ecuaciones diferenciales y en diferencias
- La estructura de entrada-salida (dinámica) del sistema está "rígidamente" definida
- Los objetivos se especifican de una manera "nítida" o no cualitativa (numérica o analítica) por el diseñador
 - insuficiente para situaciones de la vida real que requieren cierta autonomía
- Se desarrollan esquemas de control analíticos para cumplir los objetivos



Limitaciones del Control Convencional

- Conducido por la teoría de control, no por el problema a resolver
 - Se parte de estrategias de control analítico y se busca dónde se pueden aplicar
- El problema de control se aborda por separado de la planta
 - El sistema a controlar está típicamente separado del controlador
 - Paliar un diseño pobre de la planta
- La información cualitativa, la experiencia, la heurística, el sentido común, etc. no se utilizan directamente en el algoritmo de control
 - Consta esencialmente de tratamientos numéricos
- Normalmente requiere conocimientos "completos" sobre el modelo (por ejemplo, valores de parámetros) y las entradas

Sistemas de Control basados en Conocimiento



- Los seres humanos pueden manejar de forma eficaz información incompleta, imprecisa y cualitativa/difusa para tomar decisiones inteligentes
- El razonamiento humano es predominantemente aproximado, cualitativo y "suave"
- El control inteligente puede imitar el control humano (puede incorporar la experiencia del operador, heurística, conocimientos de control, etc.)



Características del Control Inteligente

- Emular funcionalidades “inteligentes” de los seres vivos:
 - Adaptación, razonamiento, aprendizaje, evolución, ...
- Multidisciplinar:
 - control, identificación, estimación, teoría de la comunicación, ciencias de la computación, inteligencia artificial, investigación operativa
- Potentes computadores
- Técnicas de la Inteligencia Artificial
 - *Soft computing*

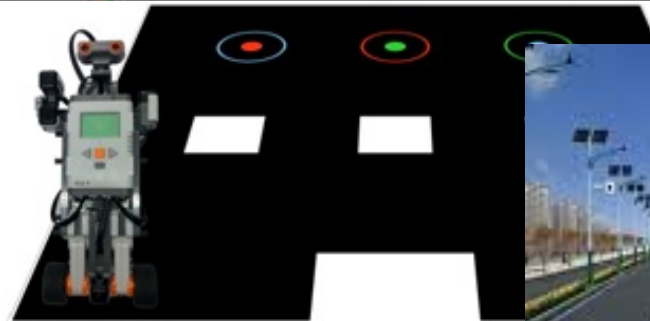
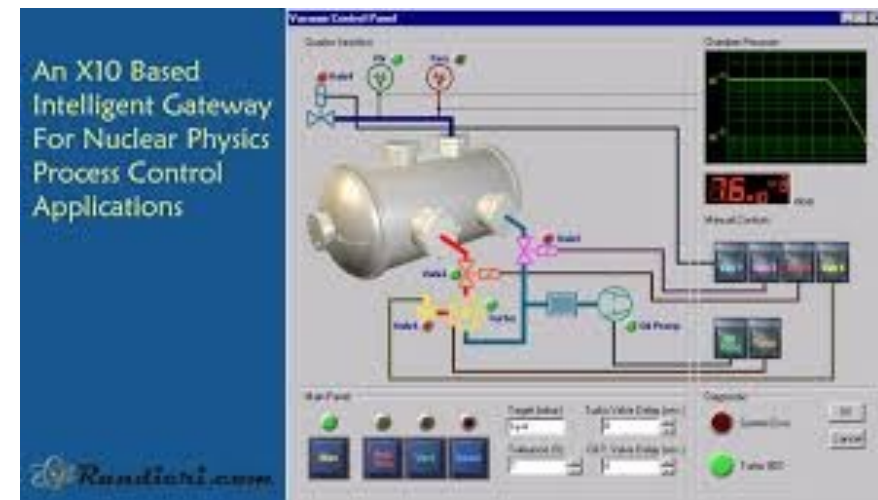


Ventajas del Control Inteligente

- No se requiere un modelo explícito (matemático/analítico) de la planta / proceso
 - Un conjunto de reglas o "base de conocimiento" puede representar el comportamiento del sistema
 - modelo implícito
- Planta y controlador no necesariamente separados
- La experiencia y el conocimiento cualitativo pueden ser incorporados
- Se pueden trabajar con información incompleta, imprecisa, general, cualitativa y aproximada
- Se les puede dotar de aprendizaje y auto-organización
 - El rendimiento mejora con la experiencia
- Robusto (tolera incertidumbres, conocimiento incompleto, error de modelo, ruido, etc.)
- Adecuado para sistemas de gran escala y complejos (donde el modelado analítico es difícil, no se dispone de medidas de las señales de entrada y salida, ...)

CONTROL INTELIGENTE

- Desafíos donde la aplicación del control inteligente puede proporcionar soluciones particularmente útiles





¿POR QUÉ CONTROL INTELIGENTE?

- **Sistemas**

- Complejos, con incertidumbre, ...

- **Requerimientos**

- No se pueden alcanzar exclusivamente con la teoría del control convencional



Sistemas candidatos al control inteligente

- ☐ Complejos (multivariable, acoplados, no lineales, etc.)
- ☐ Naturaleza de la información (matemática, lingüística)
- ☐ Información incompleta o con incertidumbre
- ☐ No existe modelo matemático o muy complejo
- ☐ Con entornos cambiantes o parámetros que varían
- ☐ Dinámica desconocida
- ☐ Conocimiento (humano) disponible

CUÁNDO APLICAR CONTROL INTELIGENTE

- Reconocerlos y distinguirlos de los sistemas de control convencional
- Clarificar el papel del control en los sistemas inteligentes
 - Identificar los problemas para los cuales los métodos de control inteligente son la única o la mejor solución

18

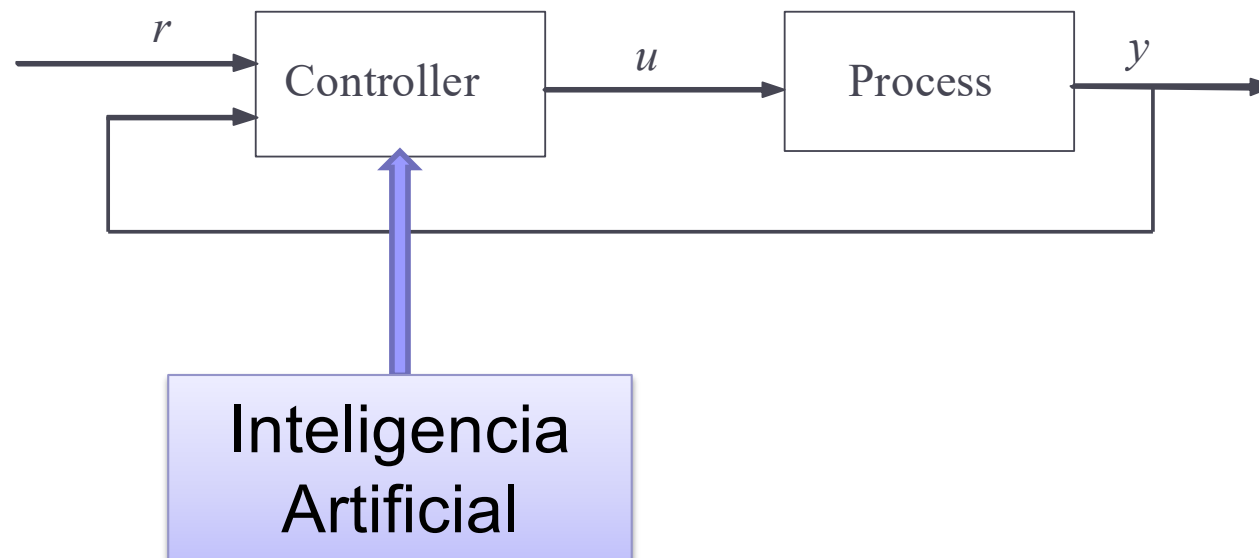


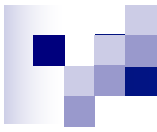
Killing flies with a bazooka



CONTROLADOR INTELIGENTE

En definitiva, el controlador inteligente es un controlador heurístico, en cierto modo autónomo, no lineal, quizás adaptativo (con aprendizaje)





2.2 INTELIGENCIA ARTIFICIAL



ALGUNOS HITOS EN LA HISTORIA

- s. XVII: J. Locke. Si las máquinas podían saber ...
- s. XVII: Leibniz. Máquina capaz de llevar a cabo cualquier proceso de razonamiento por el que se le preguntara
- s. XIX: C. Babbage, “ingenio analítico”: capaz de realizar operaciones algebraicas
- s. XX (1936): A. Turing, máquina que realizara tareas en un dominio específico de forma equiparable a los hombres
- 1970, K.S. Fu, el término “control inteligente”
- 1993, “*Technical Committee on Intelligent Control*” del IEEE Control Systems Society



MÁQUINAS “INTELIGENTES” A PRUEBA

**Los programadores tratan de engañar a los
interrogadores humanos**

- En la prueba de Turing una máquina busca engañar a los jueces para que crean que podría ser humano
- La prueba se realiza mediante una conversación basada en texto sobre cualquier tema.
- Si las respuestas de la computadora son indistinguibles de las de un humano, ha pasado la prueba de Turing y se puede decir que es “inteligente”



Conversation one

Subject: Hello. My name is Nick and I am a human.

KW: Are you happy being a human?

Subject: Yes, I am. Are you? Good. Then we are both happy.

KW: Yes, I am. Are you happy with your life at present?

Subject: Parts of it. I hate my job, but most people do, right?

KW: I'm OK with mine. What is your job?

Subject: I work as an 'online internet advertising monitor', which is fancy language for electronic filing. What do you do?

KW: I interrogate humans and machines.

Subject: Which ones do you prefer, humans or machines?

KW: Which do you prefer?

Subject: Hmm. Depends on for what purpose you mean.

KW: To go to a restaurant, for example?

Subject: Then I would much prefer going with a human.



Conversation two

Subject: Hello, my name is Mike and I am a man.

KW: Are you happy being a human?

Subject: Judge, I'm a guy.

KW: Does that worry you?

Subject: Don't worry, we'll work everything through.

KW: Do you have worries then?

Subject: Let's move on from that basis.

KW: Why?

Subject: Why? I like this subject.

KW: What is the subject, do you think?

Subject: What is the subject I wonder if I think? I know that it's good to think about.

Think deep about mysterious subjects.

KW: What mysterious subjects?

Subject: Think deeply about mysterious dubjects.

KW: What's a dubject?



2014, Test de Turing

Eugene Goostman es un niño ucraniano de 13 años, con pasión por los dulces y las hamburguesas, lentes redondas y un padre que se dedica a la ginecología. Se presenta a sí mismo como la “criatura más extraña del mundo” y, como es común en los niños de su edad, cree saberlo todo y siempre tiene una respuesta aunque ésta no siempre sea correcta.

Scott: Which is bigger, a shoebox or Mount Everest?

Eugene: I can't make a choice right now. I should think it out later. And I forgot to ask you where you are from...

Scott: How many legs does a camel have?

Eugene: Something between 2 and 4. Maybe, three? :-)))
By the way, I still don't know your specialty – or, possibly, I've missed it?

Scott: How many legs does a millipede have?

Eugene: Just two, but Chernobyl mutants may have them up to five. I know you are supposed to trick me.

Scott: No, I need to know that you're not a chatbot. Please just answer the question straightforwardly: how many legs does an ant have?

Eugene: Something between 2 and 4. Maybe, three? :-)))
Oh, what a fruitful conversation;-)



CARACTERÍSTICAS DE LA INTELIGENCIA

- habilidad para percibir y entender
 - adaptarse al entorno (distintas circunstancias)
 - tomar decisiones y realizar acciones de control
 - reconocimiento de objetos y sucesos
 - representación del conocimiento en modelos lingüísticos
 - razonamiento
 - planificación
-
- la inteligencia además crece y evoluciona



2.3 TÉCNICAS

LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

- El estudio de las facultades mentales a través del uso de modelos computacionales
- El término data de los 50, por un grupo de científicos que estudiaron el cerebro humano como modelo natural, integrando la cibernética y los computadores
 - McCarthy, Minsky, Newell, Simon



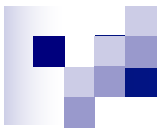


TÉCNICAS DE CONTROL INTELIGENTE

- Enfoques computacionales anteriores podían modelar y analizar sólo sistemas relativamente simples

INTELIGENCIA ARTIFICIAL

- **Soft Computing** (*computación suave*): es una colección de metodologías inteligentes, que intentan explotar la tolerancia, la imprecisión, la incertidumbre, el grado de verdad, para lograr soluciones fiables, robustas y de bajo coste



SOFT COMPUTING

Fuzzy Logic

Expert knowledge
(rules) and
approximate/
qualitative reasoning

Human knowledge
and reasoning

Neural Networks

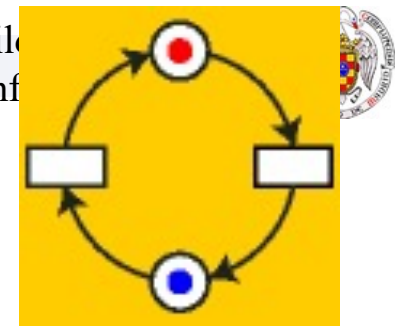
Network of massively
connected nodes.
Can accurately
represent complex
systems without
analytical models

Neuron structure in
brain

Genetic Algorithms

Derivative-free
optimization.
Can generate a
globally optimal
control system.

Biological evolution



REDES DE PETRI

- 1962, tesis Carl Adam Petri: teoría general para sistemas discretos paralelos
 - Generalización de la teoría de autómatas
 - Métodos gráficos para representar sistemas como condiciones y eventos
- Representación no puramente secuencial, causal y relaciones de concurrencia
- Lenguaje de la lógica y la representación algebraica
 - Poco atractiva para propósitos de control
 - Modelado de sistemas de eventos discretos

SISTEMAS EXPERTOS

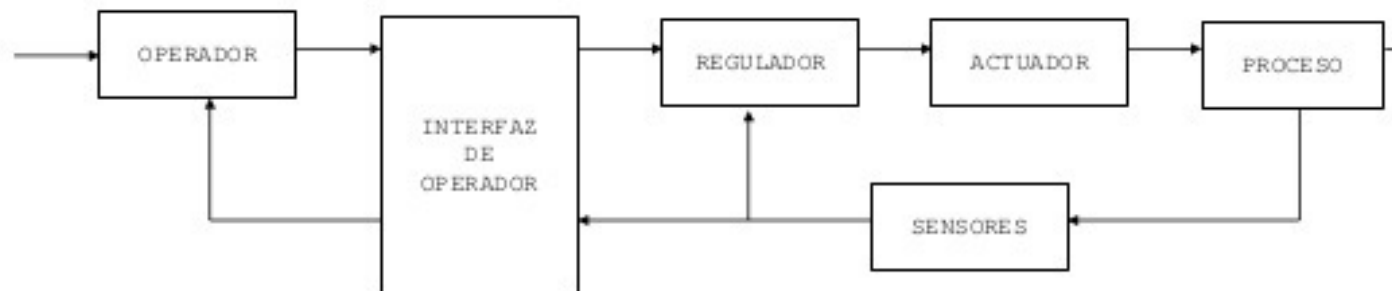
- Campo pionero de la IA
- Programa de ordenador que aplica el proceso del razonamiento humano al conocimiento de un experto en la solución de tipos específicos de problemas
- Componentes de un SE
 - la base de conocimientos (reglas y datos)
 - Reglas del tipo *if-then*
 - el motor de inferencia (razonamiento)
 - interface con el usuario





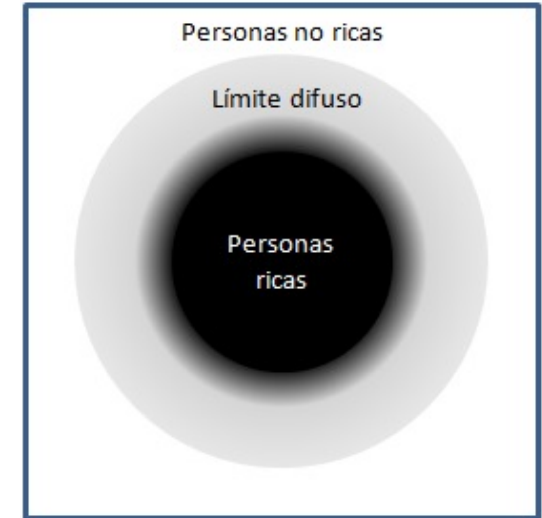
CONTROL BASADO EN REGLAS

- Útil en la toma de decisión y eficiente en el modelado
- Lenta en sistemas complejos
- Capacidad de aprendizaje muy limitada
- Aplicaciones en control a nivel supervisor
 - El operador se introduce en el sistema de control como un control superpuesto al control convencional



LÓGICA BORROSA

- Lógica fuzzy (borrosa o difusa)
 - Generalización de la lógica clásica
- Lofti A. Zadeh, 1965
- Forma matemática de representar la imprecisión inherente al lenguaje natural
- El conocimiento no puede describirse en términos (matemáticos) precisos
- Elementos pertenecen a un conjunto con un cierto grado de pertenencia



CONTROL FUZZY

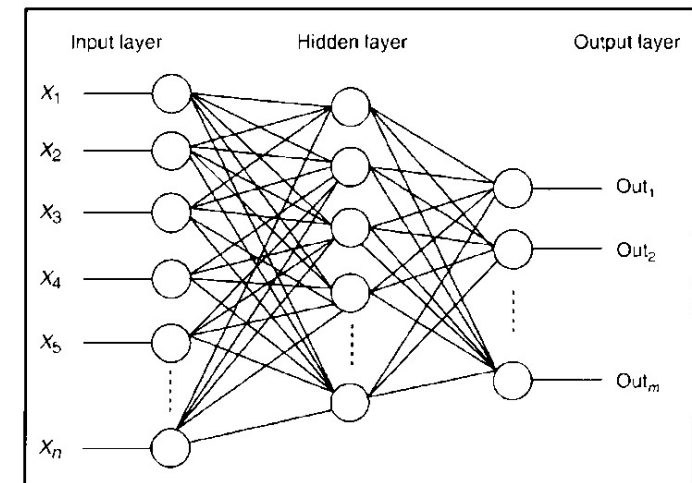
- Representa e implementa el conocimiento humano sobre cómo controlar un sistema



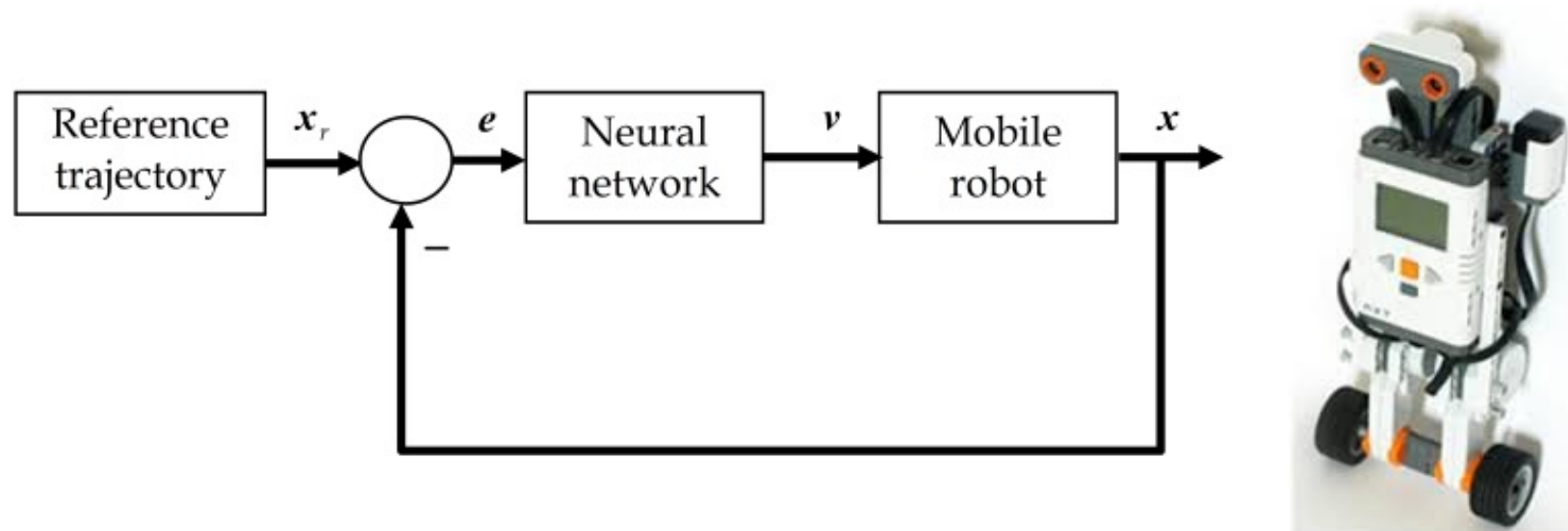
- Fuzzificación: entradas numéricas \rightarrow valores de verdad lingüísticos
- Base de reglas (if-then) sobre cómo controlar
- Mecanismo de inferencia: aplica reglas y concluye un resultado
- Defuzzificación: valores fuzzy del control \rightarrow valor numérico para la planta

REDES NEURONALES (NN)

- Las redes neuronales artificiales son circuitos, algoritmos informáticos o representaciones matemáticas inspiradas en el conjunto de neuronas que forman las redes neuronales biológicas del cerebro
- Neuronas: elementos de procesamiento
- Operan en paralelo
- Estructura de la red
- Conexiones
- Aprendizaje (entrenamiento)
- Aproximaciones de funciones matemáticas



CONTROL NEURONAL



- Las redes neuronales artificiales han demostrado ser útiles en una gran variedad de problemas:
 - Identificación
 - Control
 - El perceptron multi-capa (MLP) es la red neuronal más popular en control
 - La segunda es probablemente la red neuronal de base radial (de la cual una de sus forma es idéntica a un tipo de sistema difuso)

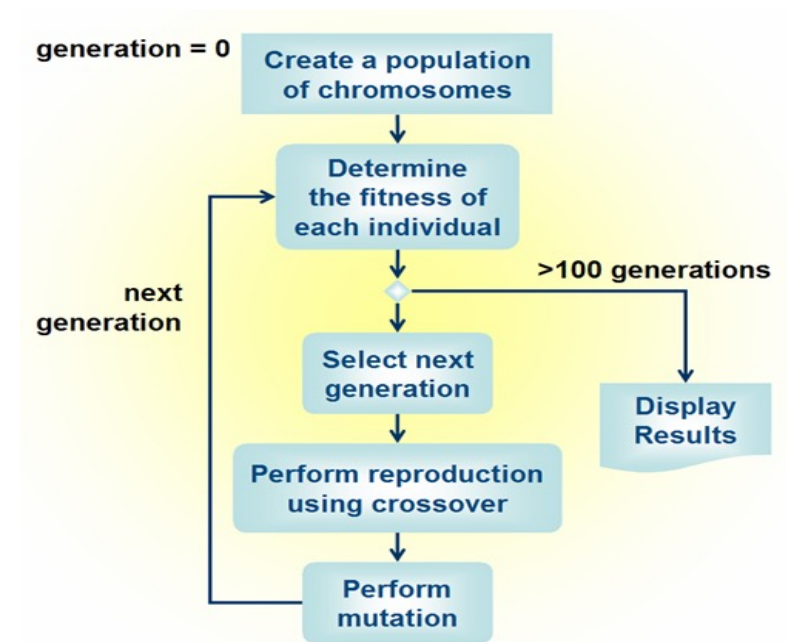


ALGORITMOS GENÉTICOS

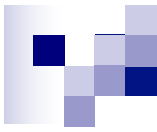
- Un algoritmo genético (GA) es un programa informático que simula las características de la evolución, la selección natural (Darwin) y la genética (Mendel)
 - Los GAs surgieron del estudio de los autómatas celulares (1975)
 - Procedimiento de búsqueda y optimización
 - Paralelo: soluciones candidatas distribuidas en el espacio de búsqueda
 - Estocástico
 - Optimización **explorando** nuevos puntos en el espacio de búsqueda o **explotando** la información ya descubierta
 - Mantienen múltiples soluciones concurrentemente

ALGORITMOS GENÉTICOS

- Representación abstracta (codificada) de las soluciones candidatas dentro de un dominio de conocimiento (individuo)
- Población inicial que evoluciona a lo largo de generaciones
- Función de ajuste
- Operadores genéticos
- Los “mejores” individuos contribuyen a la siguiente generación



Los AG encuentran un solución razonablemente buena (no óptimo global) en un tiempo razonable

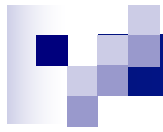


2.4 FUTURO

¿Y EL FUTURO?

- El control inteligente es una acepción de gran uso en la actualidad
- El “control moderno” de los años 60 ha pasado a ser actualmente “control convencional”
 - el control inteligente ¿simplemente “control” en un futuro no muy lejano?
 - ¿cuál será el siguiente?





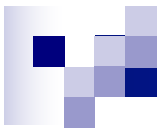
CONTROLADORES HÍBRIDOS

- Control convencional + control inteligente
- *Soft computing*
 - Control neuro-borroso
 - NN + AG
 - Control borroso evolutivo



TEMAS ABIERTOS

- Reconfiguración del control (adaptación)
- Aprendizaje
- Marcos computacionales eficientes
- Estudio analítico del funcionamiento y estabilidad
- Sensores inteligentes. IOT
- Énfasis en aplicaciones y sistemas embarcados de control inteligente



FUTURO



Una justa predicción sobre el control inteligente sería que fueran capaces de mejorar de forma autónoma su comportamiento “on-line”, y de auto organizarse y planificarse mientras aprenden para conseguir el objetivo deseado.

Werbos (1994): *el verdadero control inteligente -control que duplica las más cruciales capacidades de la inteligencia humana- no existe en ningún sistema artificial actualmente.*