

A thick, hand-drawn blue border surrounds the entire page, with a slightly irregular, artistic appearance.

# Inteligencia Corpórea

## Semestre 2011-2

# Inteligencia Corpórea

- Basado en:
  - How the Body Shapes the Way we Think.
    - Pfeifer and Bongard

# Un Poco de Historia

- Descartes:
  - El cuerpo (res extensa) y la mente (res cogitans) son sistemas distintos y separados.
- La mente controla al cuerpo.
  - Arquitectura de Subsumción: La mente está en una capa superior a la del cuerpo.

# Un Poco de Historia

- El Problema Mente-Cuerpo:
  - ¿Cómo es que los procesos físicos de nuestro cuerpo y cerebro dieron a lugar un fenómeno abstracto mental como la consciencia?
- Mucha literatura al respecto:
  - David Chalmer: “La consciencia es el misterio más grande, y el obstáculo más importante para el entendimiento del universo.”

Pongan su mano en su escritorio.

Muevan su dedo cuando ustedes quieran.

¿Quién decidió moverlo?

# Un Punto Importante: el Cerebro

- Benjamin Libet (1983):
  - El “querer” mover el dedo ocurre mucho después (casi 0.5 s) de que el cerebro comienza a mover el dedo.
  - ¿Quién lo decidió?
- No se preocupen:
  - Según Libet, todavía hay tiempo para que ese “querer” se convierta en un “no querer”.
  - Todavía hay algo de voluntad propia.

# Mente-Cuerpo

- Los encuentros de Libet son importante porque dan a luz que **NO CONOCEMOS COMO INTERACTÚAN LA MENTE Y EL CUERPO.**
- Y, que es muy posible que nuestro cuerpo es lo que determina nuestras acciones, sin necesidad de “consultar” a la mente.

¿Cómo es esto posible?



# Es una pregunta milenaria...

- Y viene acompañada:
  - ¿Como es posible que la evolución haya creado algo tan complejo como inteligencia?
  - ¿Cómo se desarrolla durante la vida de un individuo?
  - Y, ¿qué es inteligencia?

# Inteligencia

- Pfeifer:
  - “Es bastante posible que nunca acordaremos en una definición.”
  - Es un concepto que abarca muchos otros que, a su vez, son vagos y/o abarcan bastante.
  - Mejor enfocarse en “comportamiento de interés”.

# Comportamiento de Interés

- Correr (bípedo o tetrápodo)
- Aprender a salir de un laberinto
- Encontrar comida
- Reconocimiento de caras

# Direcciones Divergentes

- Dirección Clásica:
  - La inteligencia humana es una máquina de procesamiento de símbolos, por medio de seguimiento de reglas.
- Dirección Corpórea:
  - Incluye la manera de adquisición de símbolos del entorno para producir un comportamiento en dicho entorno.

# Dirección Clásica

- Aunque útil, dado un entorno controlado, crear los símbolos necesarios para que funcione en un entorno real ha sido difícil.
- Cerebro primero.
- El resto después.

# Dirección Corpórea

- Propuesto por Rodney Brooks (MIT, 1991).
  - “Inteligencia requiere de un cuerpo.”
  - Dejar atrás el modelado del mundo por medio de símbolos: “el mundo mismo es su mejor modelo.”
  - Capitalizar la interacción ambiente-sistema.

# Mundo Real

- Es “sucio”.
  - No hay eventos discretos y hay pocos bien definidos.
  - Gran cantidad de formas de percibirlo.
  - Impredicible (aun con las Leyes de la Física).
- Pero hace preguntas que no se habían hecho antes.

# Inteligencia Artificial Corpórea (IAC)

- Objetivos:
  - Entender sistemas biológicos que se comportan de una manera “inteligente” o de interés.
  - Abstractar los principios de dichos sistemas inteligentes.
  - Aplicar dichos principios en el diseño de artefactos útiles.



# Características de Entes Inteligentes

- Según Pfeifer (desde la perspectiva IAC):
  1. Seguimiento de Reglas
  2. Diversidad de Comportamiento

# Seguimiento de Reglas

- Se refiere a las reglas del entorno del ente, relevantes al comportamiento de interés.
- Para caminar:
  - Gravedad, fricción, conservación de la energía
- Para escribir:
  - Reglas de Gramática

# Diversidad de Comportamiento

- El comportamiento del ente varía aún para hacer la misma tarea.
  - Por el entorno cambiante.
  - Porque puede hacer varias tareas.
  - Porque se ve “inteligente”.

# Balance en Diversidad

- Decir siempre:
  - “Hola, me llamo Roberto.” para todo.
    - Comportamiento nada diverso.
- Decir:
  - “El colchón elabora fuertes comandos al respecto de los antecesores del torbellino triste.” u otros enunciado irreverentes.
    - Su comportamiento es “demasiado” diverso.
- El comportamiento, en toda su diversidad, es para resolver una tarea.

# En combinación...

- Las reglas están para ser explotadas, no para limitar.
- Encontrar diferentes maneras de explotar las reglas, provee diferentes comportamientos, que, a su vez, resuelven tareas.

# Ejemplo: La Pierna Humana

- Ciclo de dar un paso:
  - Se levanta el muslo en diagonal arriba-adelante, manteniendo equilibrio con la otra pierna.
  - Se mueve el cuerpo junto con el muslo
  - Se deja CAER el muslo.
- Se explota la regla de Gravedad, y la forma del ciclo rara vez se repite.

¿Es esto inteligencia?

¿Es la pierna “inteligente”?

# Antropomorfización

- El Problema de Marco de Referencia:
  - “Inteligencia” está sujeto al observador.
- Ejemplo: movimiento de una hormiga.
  - Complejo para el observador.
    - Evasión de obstáculos, búsqueda de comida...
  - Simple para la hormiga.
    - Sigue trayectoria de feromonas.



¿Es esto malo?

# Por un lado...

- Inteligencia es basicamente indefinible.
- Basarlo en comportamiento le da un objetivo práctico.
  - Lo cual es uno de los objetivos de IAC.

# Por otro lado...

- Así inteligencia ya no se considera una propiedad binaria (“inteligente” o “no inteligente”).
- Sino una noción continua (“menos”, “más”), dependiendo de:
  - La sofisticación de la tarea.
  - La diversidad de su comportamiento.
  - La manera de explotación de las reglas.
  - Etc...

## Por un tercer lado...

- Estar consciente de la posible antropomorfización que se lleva a cabo nos proporciona una bellísima filosofía:
- **EL COMPORTAMIENTO “COMPLEJO” OBSERVADO PUEDE RADICAR EN UN MODELO SIMPLE.**

Los robots de Genghis y los Seguidores de Luz  
son perfectos ejemplos.

# De hecho...

- Si recuerdan, uno de los objetivos de IAC es abstraer los principios de la “inteligencia” de un ente que se comporta interesantemente.
- Encontrar el “modelo simple” de su comportamiento, satisface a dicho objetivo.
- Pero, ¿cómo encontrarlo?

# Filosofía Principal

Aprendizaje por medio de Construir

# Por cierto: Insectos

- Brooks, al proponer IAC, comenzó con insectos:
  - “La evolución duró más tiempo en crear a insectos, que crear a humanos dada la existencia de insectos.”



# Metodología Sintética

- Dado un comportamiento de interés:
  - Se crea el cuerpo.
  - Se busca que se comporte dado el cuerpo creado.
    - Hacer cambios al cuerpo y a la mente en conjunto hasta que el robot se comporte como se desea.

# De esta manera...

- El comportamiento resultante se lleva a cabo en el mundo real.
- El proceso de búsqueda del comportamiento da información sobre la “inteligencia” del ente.
  - Es posible que el comportamiento de interés, aparentemente complejo, sea sólo unos circuitos neurales mediados por la morfología del ente.
  - ¿Suenan familiares?

Si se encuentra un modelo simple de un humano,  
¿significa que sólo somos una colección de  
reflejos?

Fuera de asustar:

El hecho que posiblemente seamos una colección de reflejos nos lleva a otra cuestión más alentadora...

Esta forma de considerar la inteligencia también nos provee los medios de hacer entes no sólo “como son”, sino también “como pueden ser”.

Pero, nos estamos adelantando...

# Metodología Sintética

- Es sólo una parte de el Marco de Trabajo propuesto por Brooks.
- La verdadera fortaleza de su propuesta está en que dicha metodología se puede extrapolar a diferentes escalas de tiempo de diseño.

# Escalas de Tiempo

- “Aquí y ahora”.
  - El mecanismo actual.
- Ontogenética.
  - Desarrollo del ente a través de su “vida” (aprendizaje).
- Filogenética.
  - Desarrollo del ente a través de varias generaciones (evolución).

¿Para qué tener escalas de tiempo?



# Tres Formas de Ver las Cosas

- ¿Por qué paramos el carro al ver luz roja?
  - “Aquí y ahora”: luz roja prende el comportamiento de frenado.
  - Aprendizaje: se enseñó dicho comportamiento de libros o de escuelas de manejo.
  - Evolución: hay un proceso histórico en el que la luz roja se utiliza para regular tráfico.

## => Decisiones de Diseño

- Se puede diseñar los mecanismos del ente directamente.
- Se puede comenzar con un ente “bebe” y diseñar las reglas con las que se desarrolla a ser “adulto”.
- Se puede diseñar un sistema evolutivo que crea entes por si mismo.

# “Aquí y Ahora”

- Se basa en el mecanismo actual del ente, en el comportamiento en este momento con el mundo real.

# Mundo Real

- Adquisición tardía de información.
- Adquisición ruidosa de información.
- Información limitada, incompleta.
  - ¿“Información completa” en el mundo real?
- No es posible caracterizarlo en estados bien definidos; no es discreto.
- Se requiere hacer varias cosas a la vez para “sobrevivir”.
- Es dinámico, siempre cambiante.

# Propiedades de Ente Completos con Cuerpo

- Están sujeto a las leyes de la Física.
- Generan estímulos sensoriales.
- Afectan al ambiente.
- Son sistemas dinámicos.
  - Con estados atractores.
- Llevan a cabo *cálculos morfológicos*.

# 1.- Leyes de la Física

- Gravedad
- Fricción
- Conservación de la Energía
- Etc.

## 2.- Estímulos Sensoriales

- Al moverse:
  - Los datos visuales cambian.
  - Los sensores de presión en los pies y pierna se disparan.

## 3.- Ambiente

- Cada cosa que el ente hace, cambia al ambiente de alguna manera:
  - Al caminar, se crea sonido, se modifica el suelo, y se quema energía (calentando el entorno).
  - Al hablar, ondas de presión son introducidas al ambiente.
  - Etc.



## 4.- Sistema Dinámico

- Por su interacción con el ambiente, un ente completo están en constante “cambio”.
  - En movimiento (caminando, levantando una tasa, siguiendo ordenes, etc.).
  - Aun en un estado estático, se sigue procesando información sensorial.

## 4a.- Estados Atractores

- Todo sistema dinámico tiende a asentarse en estados atractores.
- Estados de movimiento de caballos:
  - Parada
  - Caminata
  - Trote
  - Galope

Ejemplo: Puppy  
(VIDEO)

# Puppy

- Es un sistema dinámico en el que no hay un control central.
  - Cada pierna tiene un control independiente.
- El cuerpo fue creado inspirado en el sistema de tendón-músculo en cuadrúpedos, y en la espina dorsal flexible.

# Estados Atractores en Puppy

- Después de unos pasos, Puppy se asenta en uno de sus estados atractores:
  - Brincar, correr, trotar, y caminar.
- Si se le perturba, Puppy tiende a re-asentarse en uno estado atractor.
- Dicho asentamiento no está programado, sino que emerge del movimiento controlado independientemente de sus piernas y el diseño de su cuerpo.

# Estados Atractores

- Entre más complejo el sistema, más estados atractores tiene.
- Es importante tener muchos, ya que dichos estados pueden ser utilizados para crear un cierto tipo de cognición.
  - Se verá en más detalle en la escala de tiempo ontogenética.

## 5.- Cálculo Morfológico

- Hay ciertos procesos que se llevan directamente en el cuerpo sin intervención del cerebro.
  - La pierna se “autoajusta” al suelo, lo cual facilita el control cerebral mientras la caminata.

# EyeBot

- En un insecto, la luz (y objetos visuales) son percibidos a través de “facetas” visuales.
  - “Ojos direccionales”
- Evasión de obstáculos se puede llevar a cabo por medio de:
  - El flujo óptico del objeto a evadir se debe mantener constante a un valor específico.

(DIAGRAMA)



# Ejemplo: EyeBot

- El movimiento de un objeto percibido visualmente, cambia dependiendo de la distancia a la que uno está de éste:
  - Si está lejos, se “mueve” lento.
  - Si está cerca, se “mueve” rápido.
- *Paralejo de Movimiento* (Movement Parallax)

# Pero...

- Se tiene que compensar el Paralejo.
  - Si las facetas están distribuidas uniformemente, el flujo óptico al frente del ojo será diferente al del lado, aunque el movimiento sea constante.

(DIAGRAMA)

O...

- Se distribuyen las facetas de otra manera para que el paralejo no influya en el cálculo del flujo óptico.

(DIAGRAMA)

- Parte del principio de diseño:
  - Balance Ecológico

# Balance Ecológico

- Dado un ambiente, la morfología del ente se puede explotar para un control más eficiente, más simple, y un comportamiento más natural.
- La morfología no debe sobre-extenderse de la tarea a llevar a cabo:
  - Una cámara de alta resolución para la tarea de seguir luz no es solamente innecesaria, pero puede ser contraproducente.

# Principios de Diseño “Aquí y Ahora”

- Balance Ecológico
- Los Tres Constituyentes
- Visión Completa
- Diseño Barato
- Redundancia
- Coordinación
- Paralelización Floja
- Valor

# Los Tres Constituyentes

- Definir:
  - El entorno
  - El comportamiento deseado
  - El ente mismo
- Cada uno es diseñado para facilitar el diseño de otro(s).
  - Incluyendo el entorno (*scaffolding*).

# Visión Completa

- Considerar el agente completo, y todos sus componentes, al desarrollar cómo va a resolver una tarea.
- Ejemplo: reconstrucción visual.
  - Si, además de una cámara, el agente se puede mover.
  - Entonces puede ver el objeto de varios lados, facilitando la reconstrucción visual del objeto.

# Diseño Barato

- Apuntar a un diseño simple y fácil de construir.
- Resultado del principio de Visión Completa.
- Así como de la explotación de las reglas del entorno.



# Redundancia

- Los diferentes subprocesos del ente pueden sobrelaparse para llevar a cabo una tarea de una manera robusta.
- Ejemplo: información espacial.
  - Visión (+ largas distancia, - requiere luz)
  - Audio (+ en oscuridad, - impreciso)
  - Tactil (+ alta precisión, - corta distancia)

# Coordinación

- Se puede inducir estímulo sensorial **ESTRUCTURADO** por medio de una coordinación apropiada entre sensores y motores.
  - Por medio de redundancia de sensores y retroalimentación en motores.
  - O, por medio de afectar el medio ambiente.

# Coordinación

- Ejemplo: reconocimiento de objetos.
  - Moviendo la cabeza para obtener otro punto de vista.
  - Tratando de mover la “mano” sobre el objeto, y analizar el cambio en el ambiente visual.

# Paralelización Floja

- El comportamiento emerge de una serie de procesos paralelos, conectados “flojamente”.
  - Los resultados de uno son “vistos” por otro de una manera indirecta, usualmente por la interacción con el ambiente.

# Valor

- El ente tendrá una serie de suposiciones de lo que es “bueno” para éste y el ambiente.
- La definición de lo “bueno” y “malo” es obviamente subjetiva, y normalmente dejado a interpretación del desarrollador.

Todo esto es diseñado de una manera “estática”, considerando las ideas del desarrollador, y no es para nada una metodología bien formalizada.

¿Que tal si el ente aprendiera como utilizar sus propios componentes para llevar a cabo una tarea deseada?

# Escala Ontogenética

- Turing:
  - “En vez de producir un programa que simula la mente adulta humana, ¿por qué no producir la de un niño? [...] Como si creáramos un cuaderno lleno de páginas en blanco, en vez de la novela.”
  - El mecanismo sería más simple y más fácil de crear que el del adulto.
  - Llevar a cabo un proceso de educación.

# Aprendizaje y Desarrollo

- Esta escala, el concepto de aprendizaje es tomado como “desarrollo”, donde ambos el cuerpo y la mente cambian para el beneficio de la tarea.
  - Normalmente, “aprendizaje” habla del cambio de sólo la mente.
- Lo cual implica que *el cuerpo del robot debe poder cambiar*.
  - Esto es una noción difícil de llevar a cabo hoy en día.



# Antes de seguir...

- En esta escala, desgraciadamente, la comunidad de IAC no ha producido resultados reales.
- Por lo que la discusión de esta escala es puramente especulativa.

# Motivación

- No se ha podido programar directamente en un ente la habilidad de llevar a cabo tareas complejas.
  - No tenemos robots verdaderamente inteligentes.
- Pero los principios de diseño de la escala “aquí y ahora” podrían emerger del proceso de aprendizaje.
- Además, este proceso nos puede enseñar de la naturaleza de aprendizaje y desarrollo.

# Desarrollo Corporal

- El principal obstáculo a esta escala.
  - “Criar” un sistema artificial corpóreo.
- Lungarella:
  - Simuló el desarrollo de habilidades motoras y visuales, limitando su precisión y resolución al principio, e incrementándolos en el transcurso de tiempo.

# Tiempo

- Un bebe dura para aprender a:
  - Caminar: entre 1 y 1.5 años
  - Hablar: lo básico, 3 años
  - Ver objetos y reconocerlos: 0.5 años
- Los métodos de aprendizaje actuales son de corto plazo en comparación, y probablemente no apropiados.

# Error

- Aprendizaje == Error
  - Cada error es oportunidad de aprender, y es algo que se debe fomentar
- Pero, entonces, el cuerpo debe poder soportar golpes.

# Cognición

- “Estudiar locomoción no es trabajo en cognición.”
  - Es usualmente la forma de ver este trabajo.
- Pero, se puede utilizar a los estados atractores como una manera de “discretizar” al comportamiento del ente.

# Estados Atractores como Símbolos

- Normalmente, al crear símbolos con los cuales la cognición se lleva a cabo, dichos símbolos son arbitrarios.
- En el caso de los Estados Atractores, si se utilizaran como símbolos, serían obtenidos del comportamiento mismo (no arbitrarios).
  - La “segmentación” del símbolo sería en base al movimiento del cuerpo, no de una base subjetiva del observador.

# Aterrizaje

- Un estado atractor se identifica por:
  - Cuáles comandos se están mandando a los actuadores.
  - Propiedades de las señales sensoriales relacionados a los comandos.
    - Periodicidad, magnitud, etc.
- Basicamente:
  - “¿Qué estoy haciendo? Y ¿cómo afecta al mundo?”



# Estados Atractores y Cognición

- Ya teniendo “discretizado” el comportamiento, se puede desarrollar un sistema de cognición que utilice los estados atractores como símbolos a manipular.
- Cada símbolo ya estaría aterrizado, ya que contaría con un *significado*.
  - Específica al comportamiento del robot.
  - La cual nunca fue proporcionada por el humano.
    - Problema de Aterrizaje de Símbolos

# Proceso de Aprendizaje Propuesto

1. Señales al azar, y observación sensorial.
  - Explorar las facilidades del cuerpo y encontrar correlaciones entre movimiento y sensores.
2. Definir posibles estados atractores iniciales de las correlaciones.
3. Definir otros estados atractores por medio de imitación del entorno.
  - Perfecta transición a *interacción social*.

# Principios de Diseño Ontogenético

1. Integración de escalas de tiempo en un sólo ente.
2. El desarrollo/aprendizaje es un proceso incremental.
3. Exploración de nuevos estados atractores por medio de descubrir el cuerpo.
4. Interacción social es un buen complemento al proceso de aprendizaje (imitación).
5. Motivación hacia la complejidad debe emerger del proceso de aprendizaje.

# Escala Filogenética

- Diseño por evolución de diseños ontogenéticos o de “aquí y ahora”.
  - Preferible el de ontogenético, por sencillez y poco requerimiento de diseño humano.

# Evolución Artificial

- Refrescando memoria:
  1. Población inicial de genoma.
  2. Ciclo:
    1. Desarrollar cada genoma en el robot.
    2. Probar aptitud de cada genoma.
    3. Crear nueva generación, “reproduciendo” los genomas más aptos.
    4. Parar si población converge en un valor de aptitud.

# Motivación

- Evolución natural produjo entes inteligentes.
  - A menos de que adoptemos la forma creacionista de ver el mundo.
    - Tema para después.
- Soluciones creativas y originales.
  - *Designer bias* == malo.

# Motivación Cont...

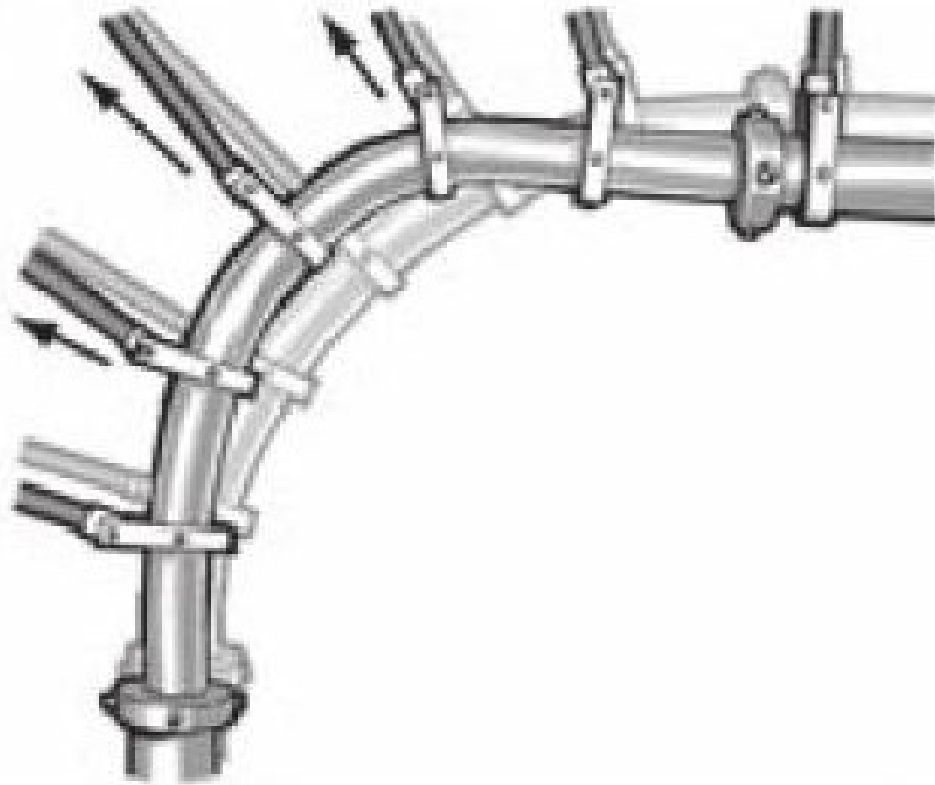
- Exploración de los principios de diseño para sistemas inteligentes.
  - Se ve la aptitud de varios diseños.
- Aprendizaje de evolución natural.
- Diseño por sólo motivación del ente.

# Motivación Cont...

- Problemas de Ingeniería con complejidad fuera del alcance de inteligencia humana.
  - Quebrar la *barrera de complejidad*.
- Ejemplo: diseño de tubería (Rechenberg, 1960).
  - Cambio de dirección a  $90^\circ$ , con el mejor flujo.



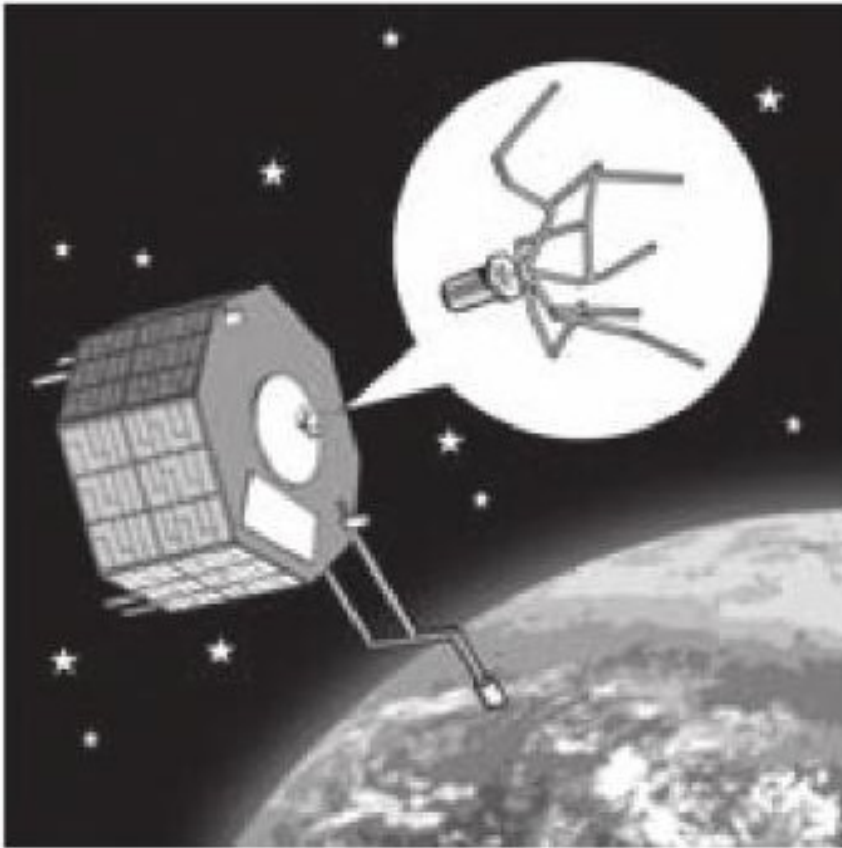
# Diseño de Tubería



# Motivación Cont...

- Otro ejemplo: diseño de antena.
  - Aún para expertos, encontrar la forma de la antena que maximice la eficiencia para recibir y mandar señales es difícil y nada intuitivo.
- NASA, 2006, satélite ST-5.

# Diseño de Antena



- “Diseñar antenas con sólo *pensar* en ellas, es virtualmente imposible.”
- Superior a diseños por humanos.

# Otro Ejemplo: Detección de Altura Tonal (Pitch)

- Adrian Thompson:
  - Crear un circuito que pudiera identificar un *pitch* alto y otro bajo.
  - Utilizó FPGA's para el desarrollo y prueba de los genomas.
  - Al terminar, utilizó otra computadora para ver cuáles componentes del FPGA no eran utilizados por el genoma más apto.

# ¡Sorpresa!

- Al quitar los componentes inutilizados, la solución del genoma ya no funcionaba.
- Thompson (1996):
  - Hay interacciones débiles, pero esenciales, entre los componentes desconectados y el resto de la circuitería que la solución del genoma está explotando.

# Otro Ejemplo: Señal Oscilatoria

- Para producir una señal oscilatoria siempre es necesario tener un *reloj* de referencia.
- Bird & Layzell (2002), queriendo probar el límite de la evolución:
  - Crear evolutivamente un circuito, sin disposición a un reloj de referencia, que produzca una señal oscilatoria.

# ¡Otra Sorpresa!

- El circuito resultante produjo una señal oscilatoria.
- Al investigar cómo lo hacía, se encontró que el circuito estaba “robándose” la referencia del reloj de una computadora cercana.
  - Las computadoras emiten ondas electromagnéticas (en este caso, del reloj) que pueden ser recibidas por circuitería cercana, usualmente tratadas como ruido.
- Perfecto ejemplo de la ventaja de utilizar al mundo como su propio modelo.

# Ventajas

- No sólo obtiene soluciones creativas con mucha variedad de comportamiento. Y las obtiene explotando las reglas de su ambiente.
  - Cumpliendo así las dos principales propiedades de un ente completo.
- Además, dichas soluciones probablemente nunca hubieran sido creadas por un humano.
  - La “inteligencia como *puede ser*”.



¿Pero, que tal un robot/ente completo?

# Pues...

- Se puede tener una morfología fija, y evolucionar sus sistemas de control.
  - Khepera, Sony AIBO
- Aunque exitosa, la evolución es limitada.
  - El mundo es definido por la morfología (fija) del robot.
  - Basicamente, sigue siendo IA clásico.
    - El sistema de control es el “cerebro”.

# ¿Alternativa?

- Evolucionar también al cuerpo.
  - Más fácil decirlo que hacerlo.
- Adelantos recientes (Karl Sims, 1994) se basan en animación computacional.

# Co-Evolución

- La idea de Sims era de diseñar, por evolución, entes inteligentes que pudieran:
  - Moverse en tierra y/o agua (entre más rápido, más apto).
  - Que compitieran entre sí por recursos.
- Consideró ambas las variables de los cerebros y las de sus morfologías:
  - Componentes (prismas rectangulares) que se podían unir por “articulaciones”, que actuaban como actuadores.

# Co-Evolución

- Variables del Cuerpo:
  - Tamaño de cada componente.
  - Tipo de actuador, y cantidad de fuerza posible.
  - Tipo y posición de sensores (táctil, luz, audio).
- Variables de Cerebro:
  - Redes neuronales que conectan sensores con actuadores

Y los resultados...

(VIDEO)

# Pero...

- Una máquina con 64,000 procesadores, para una simulación de un ambiente que *no afectaba al desarrollo de el ente*.
- Se nota la influencia de los parámetros iniciales (*sesgo de diseñador*):
  - Componentes rectangulares → entes “rectangularozos”.
- Pero fue un buen primer paso.

# Segundo Paso

- Lipson & Pollack (2000), proyecto GOLEM (no hay conexión con el del IIMAS).
  - Producción semi-automática de los entes inteligentes diseñados evolutivamente.
- Pero el proyecto se ha suspendido porque:
  - “Parece ser que el proceso evolutivo, con el paradigma de mutación-selección, ha llegado a una barrera de complejidad.”
  - Explorando modularidad, jerarquía, simbiosis, y co-evolución (social).



Dicha barrera de complejidad puede ser porque el *sesgo de diseñador* está limitando la variabilidad de soluciones.

# Eliminar Sesgo de Diseñador

- Crear componentes iniciales pequeños con funcionalidades diferentes.
  - Emular células.
- Eggenberger & Bongard (1997), simulación:
  - Bloques iniciales pequeños (esféricos).
  - Organismos “crecen” (haciendo el bloque inicial más grande, o partirlo en varios), regulados por la emulación de una red biológica genética.

# Red Biológica Genética Regulatoria

- Se comienza por un “cigoto” al que se le inyecta un químico virtual que le da “vida”.
  - El químico prende/apaga algunos de los genes del genoma.
- Cuando un gen se prende, éste libera otros químicos que:
  - Prenden/apagan otros genes.
  - Cambian las articulaciones entre bloques.
  - Crean neuronas dentro de los bloques.

# Red Biológica Genética Regulatoria

- El ente se va desarrollando mientras éste trata de llevar a cabo su tarea (empujar objetos).
  - El ambiente afecta el desarrollo del ambiente; químicos son liberados cuando algún bloque toca al ambiente.
  - La forma final del ente emerge de su desarrollo (e, indirectamente, del ambiente).
- La aptitud del ente (la distancia que empujó al objeto) se registra cuando su desarrollo converge.

# Observaciones de Bongard de Evolución Artificial

- Organismo en corto plazo son más pequeños que los de largo plazo.
- Emergieron, en mediano plazo, otros comportamientos útiles para la tarea: movimiento, pero se redujo en largo plazo.
- No hay relación directa entre el tamaño del genoma y el tamaño y complejidad del ente adulto.
- Bloques “especializados” emergieron (sensores, neuronas, actuadores, vacíos).

# Observaciones de Bongard de Evolución Artificial

- Organización jerárquica inter-bloques emergió.
  - Bloques “sensores” en las puntas, seguidos por bloques “actuadores”, seguidos por bloques “neuronas”.
- El cerebro también es afectado por el ambiente.

# Principios de Diseño Filogenético

- Población.
  - La falla de uno no es nada, comparado con el logro de todos.
- Auto-organización por Selección Cumulativa.
  - Es muy improbable “crear” un ente útil al azar de una generación a otra.
  - Es un proceso de acumulación de atributos a través de generaciones.
- Co-evolución Mente-Cuerpo.

# Principios de Diseño Filogenético

- Complejidad Escalable.
  - Lo que se debe programar en el genoma es el proceso de desarrollo del ente, no la estructura del agente.
  - Red Biológica Genética Regulatoria
- Evolución, un Proceso Fluido
  - Cambios inter-generacionales pequeños.
    - Ente formado por muchos bloques.
- Minimizar sesgo de diseñador.
  - Que la evolución haga la mayor parte.



Algunas cosas antes de terminar...

# Escalas No-Separadas

- Ejemplo: pegarte en el pulgar utilizando un martillo.
  - El “aquí y ahora” es una herramienta para el desarrollo.
  - Lo desarrollado afecta el “aquí y ahora” futuro.
  - La evolución (para mejores manos) afecta la manera en que se desarrollará, y, por ende, el “aquí y ahora” que llevará a cabo.

# Emergencia

- Mencionado a lo largo de IAC, y la base de dos de sus tres escalas de tiempo.
- Tipos de emergencia:
  - Comportamiento individual que resulta de la interacción con el ambiente.
  - El diseño de una escala de tiempo a otra.
  - Fenómeno global de un comportamiento colectivo (más de un ente).
- *Diseñar por emergencia es más que ciencia.*

# Pero, Emergencia nos Provee...

- “La inteligencia como *puede ser*.”
- Un cuerpo puede ser creado sin basarse en un ejemplo biológico.
  - No seguiría el 1er objetivo de IAC, pero se puede aprender algo.

# Mas de un Ente

- Hemos hablado del diseño de un sólo ente, a partir de la interacción con su entorno.
- Pero otros entes también su parte del entorno.
  - Interacción Social
- Se puede considerar la Inteligencia Colectiva como la “Cuarta Escala de Tiempo” de IAC.
  - Pero se desarrolla en paralelo de las otras tres.

# Inteligencia Artificial (a secas)

- Los algoritmos clásicos de IA realmente proponen lo que yo llamo:
  - Inteligencia *Humana* Artificial
- De hecho, los primeros intentos fueron de “emular la inteligencia humana”.
  - La Prueba de Turing se basa en eso.
- Por el propósito de eliminar el sesgo de diseñador en IAC, ésta proporciona una manera de ver la Inteligencia “a secas”.

# De hecho...

- Pfeifer:
- “La Inteligencia Artificial Corpórea es Inteligencia Artificial.”