

The image features an abstract graphic design on the right side, consisting of three blue circles of varying sizes arranged vertically. Each circle is composed of concentric layers of different shades of blue, creating a 3D effect. Two thin, light blue lines intersect at the top left and extend diagonally across the page, framing the circles. The text is positioned on the left side of the page.

TESIS DE MASTER

Computación evolutiva y vida artificial

**Sergio Sánchez**

**Máster Automática y Robótica**

**5/4/2010**

### - III. Mundos virtuales.

En un tercer bloque estudiamos los **ecosistemas** o mundos virtuales con la finalidad de determinar las características deseables acorde a los experimentos que se tienen previstos para módulos posteriores y las propias de las criaturas desarrolladas. Generalmente, la vida artificial se sintetiza mediante proyectos que simulan determinadas características de elementos y de entorno, es decir, de criaturas artificiales y de su medio ambiente artificial.

En cada uno de ellos se determinan las características que formarán los dos elementos las criaturas y el medio de modo que sea posible estudiar la evolución de las criaturas al medio en determinados conceptos. No se busca la complejidad del medio sino la idoneidad para observar la evolución de las criaturas al mismo.

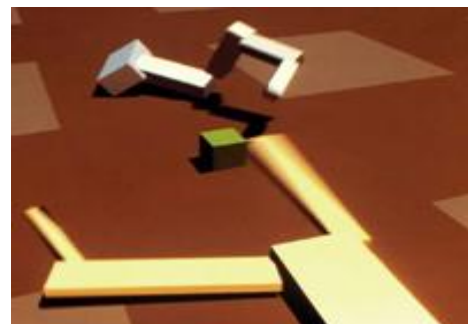
#### -3.1 Proyectos de referencia

Algunos de los proyectos comentados anteriormente se basan en mundos virtuales, generalmente la mayoría de ellos. Estos son algunos de los más extendidos entre la comunidad de científicos dedicados a la materia de la vida artificial que representan un referente para el desarrollo de otros proyectos y continuar con los enunciados. Muchos trabajos actuales se basan tanto en las ideas propuestas a raíz de la experimentación en estos ecosistemas como en la propia estructura de los proyectos.

Uno de los referentes principales son **los vehículos de Braitenberg**. Se trata de un proyecto de vehículos autónomos como simples autómatas concebido por el cyberneticista Valentino Braitenberg para ilustrar las habilidades reactivas de determinados agentes. Se trata de criaturas de las cuales su inteligencia está basada en comportamientos reactivos. El comportamiento emerge de la interacción directa entre sensor y motor. No requiere una representación interna de la interacción. En definitiva disponen de sensores lumínicos y ruedas para su funcionamiento.



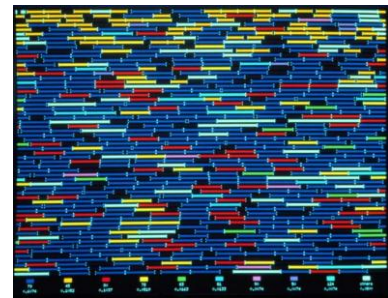
Otro de trabajos en la materia es el llevado a cabo por **Karl Sims. Evolving virtual creatures**. Se trata de un proyecto del 1994 desarrollado con la intención de involucrar evolución y criaturas virtuales formadas por cubos. Se controlan mediante redes neuronales y disponen de una serie de mecanismos de cruce y mutación muy ingeniosa. Las criaturas pueden respecto a diferentes funciones de fitness calculadas con diferentes comportamientos como caminar, saltar, nadar o coger bloques. Los resultados llaman la atención por la calidad de los



movimientos generados por las criaturas llegando a llevar a cabo movimientos complejos y eficientes. Se pueden observar algunas figuras que usan dos brazos para impulsarse. Está basado en un proyecto anterior donde se incluía física en dos dimensiones. A raíz de ese proyecto se han inspirado muchos otros que tienen por base la propuesta del Dr. Sims. Este propio proyecto centrará, como se verá más adelante, en una de las secuelas mejoradas de este trabajo.

Otro de los proyectos, **Tierra**, simula un computador virtual junto con un sistema operativo Darwiniano del cual su arquitectura ha sido diseñada de modo que puede evolucionar. El código puede mutar o recombinarse. En este caso los procesos son las criaturas y el tiempo de CPU es la energía junto con la cantidad de RAM que es el material. Los procesos compiten por el tiempo de CPU y por la memoria. De este modo se estudia la evolución teniendo en cuenta comportamientos como el parasitario, la coexistencia, la regulación de la población o la tasa evolutiva de los procesos en función de sus función de fitness basada en tiempo de cpu y memoria consumida.

En la figura se observa una distribución poblacional típica de un host de Tierra. En ella se distinguen hosts con parásitos en rojo, host no inmunes pero no infectados en amarillo y host inmunes. Entre otros organismos. La evolución de este ecosistema concreto muestra como los host no inmunes van desapareciendo dejando paso a los inmunes y a una población decreciente de parásitos que sigue los ciclos de Lotka-Vokterra de presas y depredadores teniendo en cuenta la disminución progresiva de presas (host no inmunes) y el incremento progresivo de predadores (parásitos). Una vez que se supera el límite donde las presas no pueden soportar un incremento mayor de predadores, las presas acaban rozando la extinción y los predadores ven disminuida su población proporcionalmente a la caída de la de las presas.



```

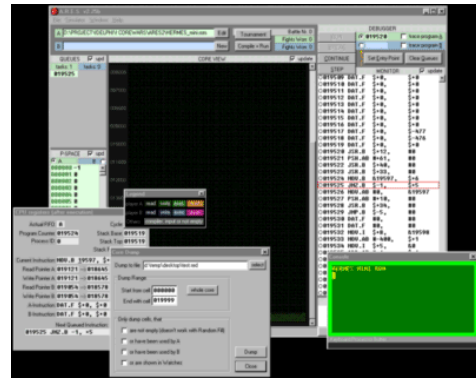
nop_1    ; 01 47 copy loop template          COPY LOOP OF 80AAA
nop_0    ; 00 48 copy loop template
nop_1    ; 01 49 copy loop template
nop_0    ; 00 50 copy loop template
mov_iab  ; 1a 51 move contents of [bx] to [ax] (copy instruction)
dec_c    ; 0a 52 decrement cx
if_cz    ; 05 53 if cx = 0 perform next instruction, otherwise skip it
jmp      ; 14 54 jump to template below (copy procedure exit)
nop_0    ; 00 55 copy procedure exit compliment
nop_1    ; 01 56 copy procedure exit compliment
nop_0    ; 00 57 copy procedure exit compliment
nop_0    ; 00 58 copy procedure exit compliment

```

Este es un ejemplo de parte de una criatura definida en el entorno Tierra.

A raíz de esta propuesta surge **Core Wars**, que se trata de la versión para el entretenimiento del proyecto de Tom Ray. En este caso se compite por ocupar la CPU y la memoria RAM con un lenguaje propio del juego. Se ha hecho muy famoso y actualmente existen versiones muy fácilmente instalables en programas como Ares o en el propio sistema

operativo Linux donde la instalación viene automatizada. El objetivo es conseguir un código que cumpla con los objetivos anteriores y que lo haga mejor que el competidor. Existen gran cantidad de patrones o figuras predefinidas como en los autómatas celulares que la propia comunidad de jugadores los hace propios como los 'Death Angels' o los 'Bombers'. El programa más sencillo es el bucle infinito: 'start' loop 'start'. Conforme aumenta la complejidad de los programas, las posibilidades se disparan y es cuando resulta entretenido. Se han llegado incluso a generar interfaces gráficas para programar y monitorizar los resultados.



Finalmente, uno de los mundos virtuales estudiados en detalle que presenta una serie de características que lo hace innovador y muy útil, Polyworld.

### -3.2 Polyworld

Este es uno de los mundos virtuales más completos en cuanto a complejidad y posibilidades que se han podido observar. Presenta una serie de características que lo hacen único y que le dan un número de posibilidades de investigación en la materia muy alto. En cuanto a los propósitos de esta tesis, resulta oportuno analizar a nivel funcional este entorno con la finalidad de disponer de un punto de vista diferente a la hora de trabajar sobre el entorno propuesto en la parte correspondiente al proyecto práctico.

El hecho de que sea opensource hace que cobre aún más interés puesto que cualquier investigador o aficionado puede jugar con el propio programa. Se han realizado varias tesis doctorales en la materia y el proyecto tiene mucho trabajo por delante. Actualmente la complejidad de código alcanza unas 15000 líneas por lo que es necesario volcarse en él para poder aplicar cambios importantes. De cualquier modo, es suficiente con conocer la codificación del fichero de configuración para definir las características globales del propio sistema.

Se trata de un **entorno de simulación ecológica** orientado a la investigación realizado por Larry Yaeger en 1994 con la intención de proveer a la comunidad científica de una herramienta capaz de simular entornos poblados con criaturas y con las capacidades necesarias para producir comportamientos complejos e interesantes por medio de algoritmos evolutivos.

Polyworld es un mundo plano donde habitan criaturas con una codificación computacional basada en su genotipo. El entorno consta además de las criaturas de fronteras impenetrables para distribuir poblaciones y de zonas donde se puede conseguir energía (comida) para continuar con la presencia en el entorno.

La visión de las criaturas se realiza directamente proyectando la imagen de una dimensión de su posición sobre una red neuronal convenientemente evolucionada y sujeta a

los algoritmos evolutivos. El comportamiento por lo tanto ofrece un número muy elevado de posibilidades.

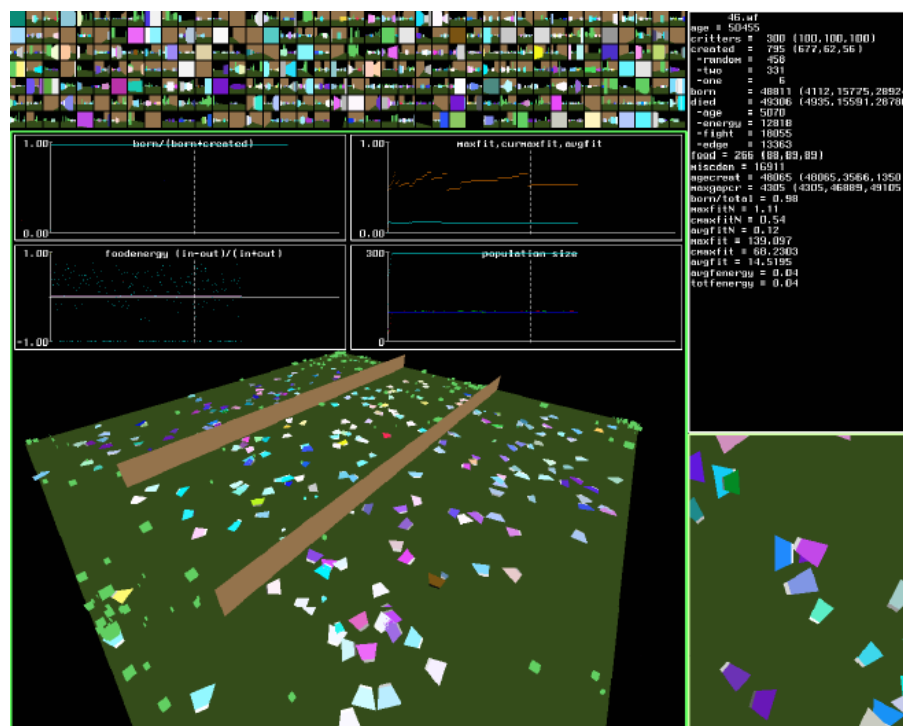
Un pequeño número de neuronas están predeterminadas a activar una serie de comportamientos primitivos como comer, atacar, aparearse, moverse hacia delante o hacia los lados, controlar su campo de visión o incluso controlar el brillo de algunos polígonos de su cuerpo. Cada acción gasta energía incluso el proceso neuronal, de modo que a organismos más complejos les corresponde un coste energético más alto. De este modo requieren completar sus necesidades energéticas para sobrevivir.

Los organismos simulan la fisiología natural con comportamientos metabólicos inherentes a la definición de su propio genoma. Cuando dos organismos expresan su necesidad de reproducción y se dan las condiciones necesarias, se genera un tercer organismo descendencia con las mutaciones y crossovers correspondientes.

El organismo más adaptado es aquel que consigue rellenar de forma más eficiente su energía y que cubre las 'necesidades' propias de su codificación de pasar su material genético. Si el organismo más adaptado falla a la hora de pasar sus genes a descendencia, el genotipo se habrá perdido y el organismo habrá fracasado.

Se conoce como una Estrategia de Comportamiento Exitosa (Successful based Strategy ECE) aquella que les ha permitido a los organismos de Polyworld, dentro de su diversidad, alcanzar el máximo número de criaturas. Mientras esto no sucede, Polyworld ejecuta un algoritmo genético puro con función de fitness centrada en la supervivencia. Una vez conseguido el ECS, la función de fitness exclusiva es la de supervivencia. Durante el estado en el que se aplica la algoritmia evolutiva (Steady State Algorithm). Mientras el sistema permanezca con un número concreto de organismos, el algoritmo genera substitutos de forma continua garantizando el mínimo establecido. Existe la función de 'Smite' que puede activarse

o no cuando el límite de población es alcanzado en una ECE, cuya función es la de mantener un listado de los organismos menos adaptados y eliminarlos cuando dos criaturas con un mayor grado evolutivo se reproducen. Esta función acelera la convergencia a poblaciones más



evolucionadas pero influye directamente en el desarrollo de la simulación puesto que la guía no es la propia evolución sino alguna de las mejores propuestas.

De este modo, con este mecanismo el propio ser humano podría haber sido eliminado de la carrera evolutiva en estados iniciales de su desarrollo cuando aún no contaba con herramientas y habilidades suficientes como para pertenecer al selecto grupo de predadores en lo alto de la cadena alimentaria. Por eso esta función se intenta no utilizar en las investigaciones orientadas al entorno ecológico.

La **codificación genética** de un organismo se codifican completamente tanto su fisiología como su arquitectura neuronal. Una lista de los elementos que se codifican:

- Tamaño
- Fuerza
- Velocidad máxima
- ID. Coloración verde
- Tasa de mutación
- Número de puntos de crossover
- Vida
- Fracción de energía a la descendencia
- Número de neuronas dedicadas al componente de visión rojo
- Número de neuronas dedicadas al componente de visión verde
- Número de neuronas dedicadas al componente de visión azul
- Número de neuronas dedicado a componentes internos
- Número de neuronas dedicadas a la excitación
- Número de neuronas dedicadas a la inhibición
- Sesgo inicial de neuronas no dedicadas al proceso de la entrada
- Tasa de aprendizaje
- Densidad de conexiones
- Distorsión topológica
- Tasa de aprendizaje entre grupos de neuronas

A cada alelo se le asigna un rango de 8 bits y un valor máximo y mínimo. De cualquier modo se puede apreciar la complejidad del genotipo y la gran cantidad de posibilidades que ofrece.

La **fisiología** viene determinada por sus genes. El tamaño de un organismo afecta directamente sobre el máximo nivel de energía alcanzable o almacenable. La capacidad viene descrita por la ecuación inferior:

$$ECap = minECap + (size - minSize) * (maxECap - minECap) / (maxSize - minSize)$$

Donde intervienen capacidades y tamaños por lo que se expresa la propia relación en función de los parámetros.

La fuerza del organismo determina en el gasto energético y la ventaja en la lucha, organismos más potentes se ven penalizados por el hecho de consumir más energía.

El proceso neuronal también produce un gasto energético por lo que organismos más complejos no tienen por qué tener mayor tasa de supervivencia sino aquellos más especializados.

Existen dos tipos de almacenaje de energía en una criatura, la de salud y la de comida. Cuando la energía de un organismo llega a cero se convierte en el valor de energía de comida restante. Esta separación hace que los ciclos predador-presa se produzcan de forma natural.

Por lo referente a los **sistemas neuronales, el aprendizaje y la visión**. Las entradas a la red neuronal que forma el cerebro del organismo son la 'visión' o proyección del entorno desde su punto de vista, el nivel de energía normalizado y un valor aleatorio. Sus salidas dan lugar a 7 comportamientos diferentes: comer, aparearse, luchar, moverse, girar, enfocar e iluminar. No se preespecifica funcionalidad alguna sino que los comportamientos son fruto de la evolución neuronal.

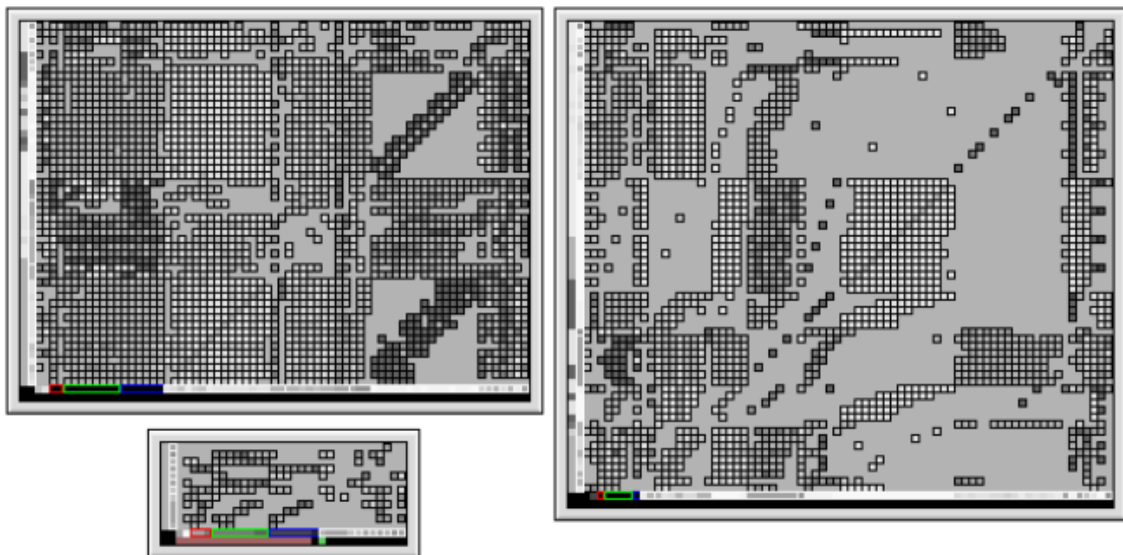


Figura 8. Arquitecturas neuronales de los organismos de Polyworld.

La figura muestra tres arquitecturas neuronales diferentes de organismos de Polyworld, la escala de grises muestra la activación neuronal y la eficacia sináptica. En la parte inferior se muestran los valores de activación por visión, energía, random y las agrupaciones.

La creación de la estructura de la red neuronal depende de mecanismos estocásticos y de su propio genoma. Dispone de agrupaciones y de neuronas dispuestas a la inhibición y a la excitación de grupos concretos.

El aprendizaje se controla mediante un proceso Hebbiano para cada par de neuronas para que además de lo heredado, se puedan generar comportamientos propios del organismo.

En lo referente a la visión se trata de una tira de píxeles de una dimensión antes que visión 3D puesto que dadas las posiciones relativas de los elementos la proyección en dos dimensiones no añade mucha funcionalidad respecto a los inconvenientes de procesar la cantidad añadida de datos.

Las **vías de investigación** sobre este mundo virtual se centran en medir una serie de características como la complejidad de determinadas características o de organismos, entendiendo complejidad como una variable definida para cada caso y bajo ciertos criterios. Se mide la evolución de la red neuronal de cada organismo, la tasa de aprendizaje, el tiempo de vida, el número de reproducciones o la cantidad de energía recolectada durante la vida de los organismos en término medio.

Se mide la entropía como el grado de biodiversidad entre organismos o la información mutua entre otros muchos indicadores.

Como resultados observados como comportamientos complejos, se ha conseguido:

- Respuesta a estímulos visuales acelerando
- Respondiendo a un ataque con una huida
- Respondiendo al ataque con un contraataque
- Pastar reduciendo velocidad en campos de comida
- Expresar atracción por la comida describiendo círculos
- Seguimiento de otros organismos

Trabajos futuros pretenden usar la complejidad como función de fitness o incluir más elementos sensores o elementos sujetos a ser percibidos, así como un grado mayor de comportamientos. En la parte práctica de esta tesis se tendrán muy en cuenta estos comportamientos emergentes y estas vías para trabajar en la línea e intentar obtener datos sobre los que cotejar respecto a los resultados de los trabajos de Polyworld.

### -3.3 Conceptos involucrados en la investigación

Principalmente, con la puesta en marcha de ecosistemas artificiales se pretende estudiar el comportamiento y generalmente la evolución de determinados organismos para llevar a cabo tareas concretas.

No es necesario que la computación evolutiva se vincule al propio ecosistema ya que la evolución propiamente dicha se puede dar no solo mediante un algoritmo genético sino por medio de, por ejemplo, reglas de comportamiento prefijadas.

La **aleatoriedad** es un factor importante en la puesta en marcha de ecosistemas ya que permite que determinados comportamientos u observaciones se lleven a cabo donde en un medio determinista sería poco probable o imposible que ocurriesen.

Algunas de las áreas y características involucradas en las investigaciones actuales en la materia se describen a continuación, siendo la lista aplicable a un número muy amplio de proyectos.

Una de las principales vías de estudio es la **evolución** como mecanismo. Muchos proyectos de investigación se centran en estudiar los procesos del propio sistema evolutivo con la perspectiva de mejorar las técnicas y de añadir conocimiento al área tanto de computación como la biológica.

La puesta en marcha de un sistema evolutivo con la finalidad de optimizar una **función de fitness** o de aptitud es un tipo de proyecto muy utilizado. Se genera el entorno donde los individuos presentan soluciones totales o parciales a un determinado problema. Un ejemplo en uso actual es la creación de entornos físicos con simulaciones realistas donde los individuos son vehículos terrestres caracterizados por un gran número de variables y donde la función a optimizar es la perturbación producida en los ocupantes y la solución no incluye la totalidad del vehículo sino una parte concreta como pueden ser los sistemas de amortiguado.

La **complejidad** de los individuos es materia de estudio en profundidad. Determinados proyectos que usan técnicas avanzadas para crear los individuos, como ejemplo de redes neuronales vinculadas a determinados receptores y actuadores, requieren un estudio más centrado en la evolución de las capacidades de sus individuos. Estos estudios se centran en observar las tendencias de sus capacidades de proceso y sus comportamientos asociados. Actualmente se plantea utilizar la propia complejidad como base del proceso, es decir, como función de aptitud.

Otra de las materias de estudio es la **coevolución**, es decir, de qué forma se efectúa la evolución en diferentes poblaciones pertenecientes a lo que se denomina diferentes especies de forma vinculada. En síntesis, este área se encarga de estudiar la evolución de determinados individuos en función de los demás. Es una rama que actualmente gana fuerza y adeptos puesto que los mecanismos de coevolución pueden ser tan importantes como la propia evolución, de hecho, en la naturaleza está siempre presente por ejemplo observando los ciclos predator-presa de Lotka Volterra. En esta área entraría cualquier tipo de **competición** ya sea por el control de determinados recursos, por la depredación, por la lucha o por cualquier otra

función de aptitud evaluada de forma independiente en poblaciones distintas y usada en el proceso evolutivo.

Finalmente una de las direcciones de la investigación sobre ecosistemas artificiales muy importante es la del estudio de la **selección natural** en el propio entorno. El establecimiento de la reproducción basada en la aptitud de los organismos es una potente forma de facilitar la aparición de buenas soluciones por lo que se estudian los mecanismos que propician la selección de buenas soluciones y no descartan de forma prematura el resto.

Para el proyecto de capítulos posteriores se ofrecerán vías de investigación sobre algunas de las áreas comentadas en este apartado.

#### -3.4 En resumen

Se ha visto en detalle los tres campos que intervienen en el proyecto propuesto, la computación evolutiva, la vida artificial y los ecosistemas virtuales extrayendo las características más relevantes y estudiando los proyectos y aplicaciones actuales.

Una vez definidos los conceptos teóricos de las materias involucradas en el sistema que tenemos previsto definir, es hora de poner en práctica parte de lo adquirido en base a proyectos realizados en la materia y bajo lo estudiado anteriormente. Se propondrá un entorno virtual donde se ponen en escena gran parte de lo aprendido en los primeros módulos.

Los próximos apartados se centrarán en la definición del proyecto, la puesta a punto y el desarrollo de parte de las características propuestas.

Finalmente se resumirá la estructura de formación online prevista y se detallarán sus características.