

CARTILLA DE ACOMPAÑAMIENTO ROBOTS ELECTROMECHANICOS PROYECTO ATA EPE

DINO SEGURA

CORPORACION ESCUELA PEDAGÓGICA EXPERIMENTAL



Entidad realizadora
CORPORACION ESCUELA PEDAGOGICA EXPERIMENTAL

Autor
DINO SEGURA

Desarrollo de prototipos: RAFAEL REINALDO REYES

Diagramación: VIVIANA CHAPARRO

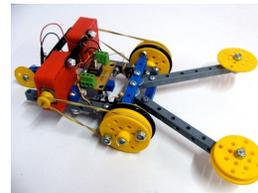
ENERO 2012

Prohibida la reproducción total o parcial de esta obra, ni su tratamiento, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, por fotocopia por registro u otros métodos, sin el permiso previo y escrito de los autores

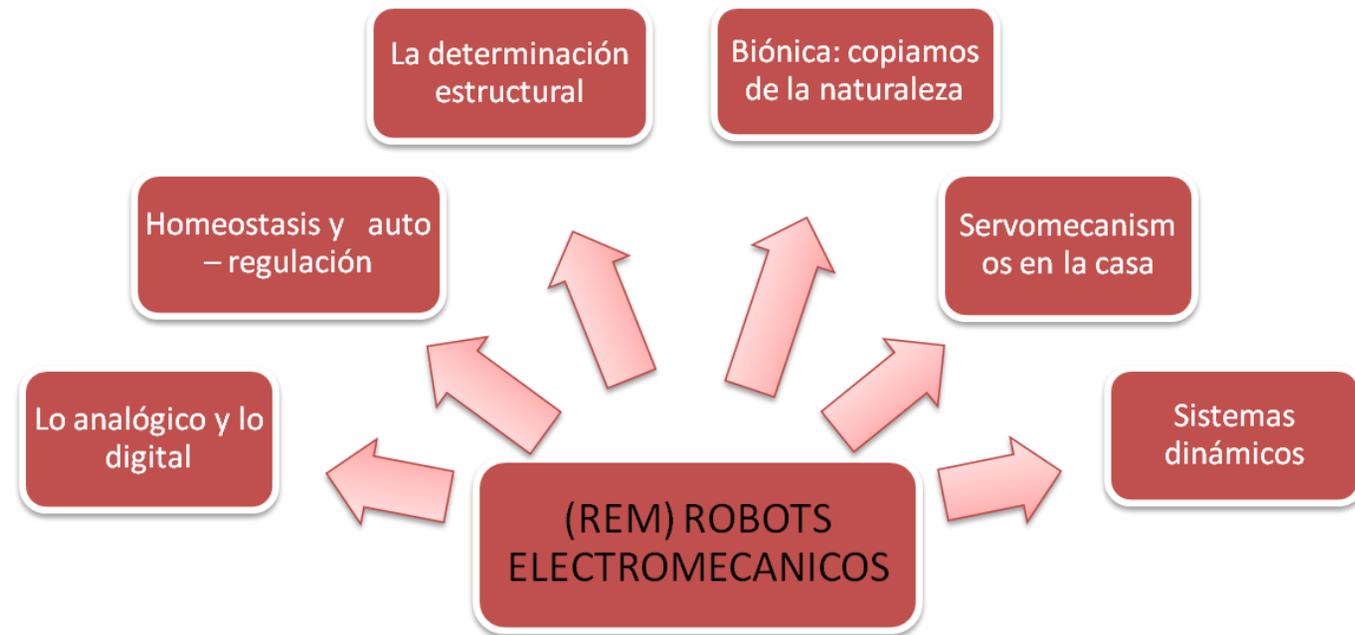
Impreso en Colombia / Print in Colombia

CONTENIDO

1. Los robots electromecánicos: Introducción	4
2. Los robots electromecánicos: Perspectivas de trabajo	
2.1 Lo analógico y lo digital	8
2.2 Servomecanismos en la casa	13
2.3 Homeostasis y autorregulación	17
2.4 Biónica, copiamos de la naturaleza	25
2.5 La determinación estructural	28
2.6 Sistemas dinámicos	31



LOS ROBOTS ELECTROMECHANICOS: INTRODUCCION



Robots electromecánicos (REM) una fuente para la comprensión

Los robots electromecánicos (REM) son artefactos que dependiendo de su interacción con el entorno, están en capacidad de tomar decisiones. Mientras un artefacto de nuestro *ATAO exploración* funciona o no funciona y cuando funciona, siempre exhibe el mismo comportamiento, en el caso de los REM la manera como se comporta cualquiera de ellos depende de su historia, esto es, de las interacciones pasadas. En ese sentido son máquinas NO-triviales, en términos de H. V. Foester¹ y en concordancia con ello son (opus cit. Pg. 153):

- Sintéticamente determinadas.

¹ Von Foester. (1996) *Principios de autoorganización en un contexto socioadministrativo*. En: Semillas de cibernética. Gedisa, Barcelona.

- Dependientes de la historia.
- Analíticamente indeterminables
- Analíticamente impredecibles.

Estas máquinas poseen un estado que depende de su historia y una función motriz, que es el comportamiento visible.

Aunque muchas de nuestras relaciones cotidianas se dan con máquinas no triviales, casi siempre se mantienen invisibles a nuestros ojos. Ejemplos de máquinas no triviales son los seres vivos y como veremos, los servomecanismos y sistemas de control como la nevera, el horno, la plancha eléctrica e incluso, la cisterna del baño.

Es debido a esto que la comprensión de los REM puede ser un punto de partida para comprender no solamente lo que es un robot sino el funcionamiento de los organismos vivos. Ahora bien, no solamente se trata de una máquina no trivial sino que su comportamiento, en cualquiera de sus estados está estructuralmente determinado, entendiendo esta expresión en términos de H. Maturana².

Es por estas razones que los REM pueden conducirnos a preguntas e inquietudes relacionadas con los siguientes temas.

- *Lo digital y lo analógico.*
- *Homeostasis y autorregulación.*
- *La determinación estructural*
- *Biónica, copiamos de la naturaleza.*
- *Los sistemas dinámicos.*
- *Los servomecanismos en la casa.*

Es también por esta razón que los REM son una puerta de entrada para el tratamiento de aspectos de la tecnología, de la biología y los fenómenos sociales y económicos.

La razón para que se presente esta aparente universalidad es muy simple. El asunto es que hoy, en el siglo XXI, la manera como se explican los acontecimientos y fenómenos sociales y naturales dejó de ser lineal y determinista. Hoy se reconocen la múltiple causalidad, los bu-

² Maturana, H. y Varela, F. (1998) *El árbol del conocimiento*. Santiago de Chile:Universitaria.

cles y retroacciones y los procesos de auto-organización. De lo que se trata entonces es de hacer un esfuerzo para pensar "contemporáneamente". Cuando esto se logra, las interacciones son distintas y los funcionamientos resultan modelados de maneras muy similares a pesar de pertenecer a las disciplinas definidas analíticamente como muy distintas. Tenemos entonces que el mismo modelo que se utiliza para comprender el enfriamiento de un cuerpo nos lleva a comprender los precios en el mercado. Ya veremos esto al estudiar los sistemas dinámicos. Veamos a continuación algunos de los temas íntimamente relacionados con los REMs del proyecto ATA EPE.

Lo analógico y lo digital

La manera como las variables cambian en las interacciones puede ser continua o discreta, en otras palabras, puede ser analógica o digital. Lo digital podemos asimilarlo a un lenguaje en donde sólo podemos decir SI o NO (1 o 2, Ver la Cartilla Teórica de acompañamiento)). Nuestros REM funcionan digitalmente.

Para comprender la diferencia entre lo uno y lo otro es conveniente estudiar el significado de un interruptor y su semejanza con los "sensores" del cuerpo. Un interruptor no hace más que desencadenar un comportamiento, una percepción, una energía. Y los interruptores poseen dos posiciones 1 y 0, o NO y SI.

También es interesante crear códigos y comprender con ello lo que es un código, en especial, un código de barras. Realmente este aspecto de la información se puede estudiar con éxito y ejemplos muy simples, desde los grados de 5º de primaria. Esta es una vía que nos lleva a comprender muchos aspectos de la cotidianidad, como lo veremos en el párrafo siguiente.

Los servomecanismos en la casa

Aunque el nombre puede parecernos extraño, en la casa convivimos con varios servomecanismos, esto es con sistemas de control automático. Son ejemplos la cisterna del baño, la plancha eléctrica y la nevera. Y en el automóvil tenemos el control automático de temperatura y el aire acondicionado, por ejemplo.

Los servomecanismos son dispositivos que permiten mantener estados de equilibrio de manera automática. Estos servomecanismos funcionan sobre la base de la retroalimentación negativa.



En este sentido la "salida" del dispositivo afecta la entrada en cuanto mediante una comparación entre el estado y un criterio predefinido, la máquina "decide" su actuación.

Al estudiar los servomecanismos encontramos dos circuitos que deben entenderse separadamente, un circuito de la energía (de la función motriz) y un circuito lógico (de la función de estado), que se articulan dando como resultado el funcionamiento del robot.

Esta es la puerta de entrada para entender la cibernética o teoría del control (o del gobierno).

Biónica, copiamos de la naturaleza

La preocupación por comprender el funcionamiento de los seres vivos con la perspectiva de utilizar tal comprensión para solucionar problemas en la ingeniería o las ciencias, no es reciente. Seguramente la figura que aparece inmediatamente es la de Leonardo da Vinci o la de Ícaro en la mitología. Sin embargo, la BIONICA como disciplina es realmente nueva, tal vez de hace unos 50 años.

Así pues, podemos encontrar soluciones a partir del estudio de la fisiología, entonces tenemos la forma de los peces y las aves, o la resistencia de los nenúfares del Amazonas. Pero también pueden verse estrategias de control, o formulas de evitación individuales o colectivas en los seres vivos. Esto podría verse en el estudio de las enfermedades y de las maneras como se superan algunas dolencias o enfermedades o los comportamientos ancestrales relacionados con la alelopatía:

"La alelopatía es la ciencia que estudia las interrelaciones entre plantas, mediante las relaciones de regulación o repulsión entre ellas y otros organismos. Muchas plantas producen sustancias químicas que repelen a otras plantas, hongos, bacterias, nematodos, virus e insectos, por lo que representan un control natural muy efectivo que en muchos casos evita la utilización de insecticidas, herbicidas y funguicidas"³.

Los sistemas dinámicos

Son a la vez una disciplina, orientada a la búsqueda de explicación y anticipación mediante

³ Tomado de <http://www.mailxmail.com/curso-principios-basicos-agricultura-organica/alelopatia>

la teoría de sistemas y una manera de aproximarse a la solución de las ecuaciones diferenciales utilizando la simulación del fenómeno mediante la recurrencia. En los sistemas dinámicos son de especial importancia para la explicación los bucles de causalidad, la retroalimentación, los mecanismos de autorregulación y las opciones de simulación ya mencionadas.

Cuando se estudia la simulación y se aprovecha tal enfoque, es determinante el uso de los computadores a fin de hallar respuesta a los problemas mediante reiteraciones.

Cuando al comportamiento cibernético de control y retroalimentación se añade la recurrencia, esto es la aplicación reiterada de un mismo operador "sobre el resultado del mismo", nos encontramos con asuntos que no solamente nos sorprenden sino que crean una manera diferente de mirar los acontecimientos. La aplicación reiterada de un operador puede conducir en algunos casos a los valores propios (denominados también atractores, en el contexto de los fractales). La recurrencia, en estos términos, nos lleva a comprender el carácter de una persona como una especie de atractor resultante de la interacción reiterada de un organismo con su contexto (natural y cultural).

Tenemos pues que esta manera de ver tiene su aplicación inmediata en las ciencias de la vida, pero también en el estudio de la sociedad e incluso en las artes plásticas.



LO ANALÓGICO Y LO DIGITAL

En la ciencia y en la vida cotidiana la analogía es algo muy común. Mientras en la cotidianidad cuando queremos dar cuenta de una novedad, de algo que recién hemos visto, nos referimos a ella en términos de símiles mediante un "es como". En la ciencia cuando inventamos una explicación estamos construyendo un modelo y el modelo es una metáfora, que está en el ámbito de la analogía. Las analogías también son frecuentes cuando estamos en el terreno de la medición. Como es muy difícil medir directamente las variables que queremos medir, con frecuencia preferimos medir una variable que depende (ojalá linealmente) de la que queremos medir. Así medimos la longitud de una columna de mercurio cuando queremos conocer la temperatura, sabiendo que la variación de la longitud de la columna de mercurio es análoga a la variación de la temperatura, o medimos el ángulo que se desplaza una aguja para determinar la magnitud de la corriente eléctrica en un amperímetro, sabemos que el ángulo está relacionado con ella (de maneras que no son tan evidentes). Una variación es análoga a la otra.

Por otra parte, la manera como las variables cambian en las interacciones puede ser continua o discreta, en otras palabras, puede ser analógica o digital. Lo digital podemos asimilarlo a un lenguaje en donde sólo podemos decir SI o NO (1 ó 0; ver la Cartilla Teórica de acompañamiento)). En nuestros REM encontramos funcionamientos digitales sobre todo en los circuitos de información.

Los interruptores y las informaciones digitales

Para comprender la diferencia entre lo digital y lo analógico es conveniente estudiar el significado de un interruptor y su semejanza con los "sensores" del cuerpo. Un interruptor no hace más que desencadenar un comportamiento, una percepción, una energía. Es por ello que los interruptores solo poseen dos posiciones 1 y 0, ó SI y NO.

Las experiencias con los interruptores son engañosas y nos remiten a veces a las diferentes causas previstas por Aristóteles¹. Cuando decimos que al poner el interruptor en SI, prende el bombillo, decimos que una consecuencia de poner el interruptor en SI es que el bombillo alumbra, sin embargo la energía que hace que alumbra el bombillo no procede del interruptor, lo que éste hace es "gatillar", o dejar pasar tal energía para que el bombillo alumbra.

1 Aristóteles distingue la causa material, la causa formal, la causa eficiente y la causa final.

Si tal energía no existe, el bombillo no alumbrará así el interruptor esté en SI (puede, por ejemplo, darse una falla en la conexión eléctrica).

Lo digital y lo analógico en la transmisión de energía

Los procesos de transmisión de información son hoy completamente distintos a lo que eran en general hace unos años. En el caso de una señal de radio (por ejemplo si se trata de una señal de voz) que va de un transmisor (emisora) a un receptor, en el dominio de lo analógico las cosas podrían describirse mas o menos así:

1. En el micrófono se da una transformación: las ondas mecánicas producidas por la voz de un locutor llegan a una membrana que vibra mecánicamente de manera análoga a las presiones y enrarecimientos de las ondas.
2. La vibración de la membrana hace que en un campo magnético se genere una corriente eléctrica que varía de manera análoga a como vibra la membrana (que, como dijimos, varia de manera análoga a la onda mecánica que se produce al hablar).
3. La corriente eléctrica en forma de onda de información viajará ahora sobre una onda que la transporta de un lugar a otro, donde hay un receptor (puede modularse la frecuencia: FM, o modularse la amplitud: AM.).
4. Esta información llega a un el receptor en donde se da un proceso inverso al descrito. La variación de la corriente se transforma en variación en el campo magnético, que se traduce en movimiento de una membrana, que se convierte en sonido. Y todas las variaciones que se dan en las transformaciones son de carácter analógico.

Cuando se trata de transmisión de información de manera digital el proceso es distinto. En el micrófono se convierten las ondas mecánicas en una serie de unos y ceros que, entendido como un código, es transmitido al receptor. Cuando el código está ya en el receptor, la decodificación conduce a la traducción de los unos y ceros en el sonido que inicialmente los produjo.

Ejemplos de la producción de códigos

Para comprender cómo es que los unos y ceros son información veamos dos ejemplos, que por su simplicidad suelen incluirse en las actividades del grado 5 de la educación básica. En el primer caso veremos la génesis de los códigos en una clasificación estática; en el segundo ejemplo, tendremos un procedimiento en la base de la generación de la información.

Con estos ejemplos podemos ver también lo que es un código de barras.

Ejemplo 1

Organicemos en una tabla las propiedades² de ciertos animales:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	CODIGO
Perro	1	0	0	1	1	0	1	1	1	100110111
Gallina	0	0	1	1	0	1	1	0	1	001101101
Caballo	1	0	0	1	0	0	1	1	1	100100111
Ballena	1	0	0	0	1	0	0	0	1	100010001
Murciélago	1	0	0	0	0	1	0	0	0	100001000
Cocodrilo	0	1	0	1	1	0	0	0	0	010110000
Pez dorado	0	1	0	0	1	0	0	0	0	010010000
Águila	0	0	1	1	0	1	0	0	0	001101000
Elefante	1	0	0	1	0	0	1	1	0	100100110
Avestruz	0	0	1	1	0	0	1	1	1	001100111

- | | |
|------------------------|--------------------|
| 1. Tiene pelo | 2. Tiene escamas |
| 3. Tiene plumas | 4. Camina |
| 5. Nada | 6. Vuela |
| 7. Doméstico | 8. Animal de Carga |
| 9. Alimento del hombre | |

Tenemos entonces que el código del perro es 100110111, que quiere decir que el perro:

- 1: tiene pelo.
- 0: no tiene escamas.
- 0: no tiene plumas.
- 1: camina.
- 1: nada.

² Realmente no son propiedades de los animales, sino resultados de la interacción. El que sea alimento del hombre no es una propiedad del avestruz.

0: no vuela.
1: es doméstico.
1: es un animal de carga ,y
1: es alimento del ser humano.

De acuerdo con estas convenciones el murciélago es el animal cuyo código es 100001000, mientras que el del código 100100110 es el elefante. En este caso se trata de una digitalización de la información lograda mediante la pertenencia o no a una clase, definida externamente.

El código puede también significar un proceso, como se ve en el siguiente ejemplo.

Ejemplo 2

Voy a "averiguar" el número que estás pensando.

Luego de haber jugado varias veces a determinar el número que el otro jugador está pensando, procedemos a proponer un "procedimiento" estándar para determinarlo.

Piensa un número!. Ya lo pensaste, entonces voy averiguarlo con el menor número posible de preguntas.

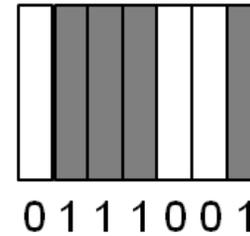
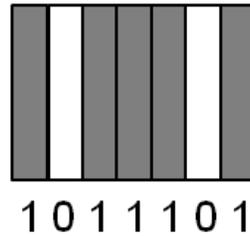
Pregunta 1:	¿Es mayor que 50?.
Respuesta 1:	SI.
Pregunta 2:	¿Es mayor que 75?.
Respuesta 2:	NO.
Pregunta 3:	¿Es mayor que 63?.
Respuesta 3	SI.
Pregunta 4:	¿Es mayor que 69?.
Respuesta 4:	SI.
Pregunta 1:	¿Es mayor que 72?.
Respuesta 5:	SI.
Pregunta 1:	¿Es mayor que 74?.
Respuesta 6:	NO
Pregunta 7:	¿Es 73?
Respuesta 7:	SI.

Este número, por la manera como se determinó podría representarse como 1011101.

Con el mismo procedimiento, 0111001 será el número 46.

Y, también se pueden representar así:

0 nos dice que NO es mayor de 50.
1 nos dice que SI es mayor de 25.
1 nos dice que SI es mayor de 38.
1 nos dice que SI es mayor de 44.
0 nos dice que NO es mayor de 47.
0 nos dice que NO es mayor de 46.
1 nos dice que SI es 46.



En donde el código de barras (1011101) corresponde al número 73 y el de la derecha, al número 46.

Notemos que el código o secuencia de unos y ceros, no tiene ningún significado en aislamiento, esto es, sin la referencia. Bien puede corresponder a un número, a un animal, al producto en un supermercado, a una nota musical, o a lo que sea.

Código de barras típico.

Otras especificidades de los códigos de barras, como los puntos de inicio y de terminación y la utilización de caracteres alfanuméricos no los mencionamos. (Tomado de Wikipedia, febrero 14 de 2012).



En un aparato de medida, la variable que se mide puede variar de manera análoga a como varía la variable que se quiere medir. Así la longitud de una columna de mercurio puede ser proporcional a la temperatura, de tal suerte que sabiendo la longitud de la columna puedo saber cuál es la temperatura. Así tendríamos mediciones analógicas: La corriente eléctrica que fluye es análoga a la magnitud del voltaje, conociendo la corriente puedo saber el voltaje, etc.

Hoy existen procedimientos para digitalizar una información analógica. Y, eso es deseable ya que la transmisión de la información es mucho más confiable para lo digital que para lo analógico. Y el método de digitalización se parece a lo que hicimos en el ejemplo anterior cuando se adivinaba un número.

La información en los ROBOTS ELECTROMECAÑICOS

La digitalización de la información en los REM se da por la acción de los interruptores y está organizada de tal manera que se presenta un control por retroalimentación negativa. En el caso del ratón, por ejemplo, inicialmente la rueda de la izquierda se encuentra en movimiento de tal suerte que el artefacto se acerca a la pared (como si la buscara, si no la encuentra sigue en una trayectoria circular). Cuando el artefacto "encuentra" la pared: la consecución de la meta hace que un interruptor cambie de posición, de tal suerte que se acciona la rueda derecha, la izquierda se desconecta y el aparato se aleja de la pared.

Cuando se aleja de la pared volvemos al comienzo, la rueda izquierda funcionando y el artefacto acercándose a la pared.

Ahora se acerca, logra el objetivo,

Cambia la polaridad.

Entonces se aleja, pero al hacerlo nuevamente cambia la polaridad.

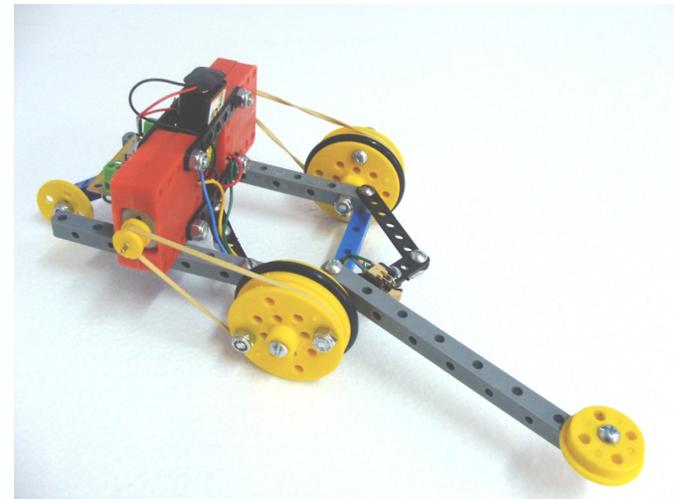
Ahora se acerca, logra el objetivo,

Cambia la polaridad.

Entonces se aleja, pero al hacerlo nuevamente cambia la polaridad.

Y tenemos entonces el ciclo de retroalimentaciones negativas:

El logro del objetivo desencadena un distanciamiento de éste. El distanciamiento de la pared



es acompañado de acercamiento a la pared.

En todos los casos es posible describir el comportamiento del robot de dos maneras: (1) como si tomara decisiones, frente a dos opciones y (2) como si simplemente respondiera a su determinación estructural³.

Como veremos, esta consideración es también válida para los seres vivos y, en particular, para los seres humanos (ver, *Ética y Acción* de Francisco Varela)⁴: la toma de decisiones (racional) en la mayoría de los casos no se da, lo que se presenta es la respuesta a esquemas percepción – acción que hemos interiorizado.

3 Ve Maturana, H. y Varela, F. (1998) *El árbol del conocimiento*. Santiago de Chile: Universitaria.

4 Varela, F. (1995) *Ética y Acción*. Santiago: Debate..

LOS SERVOMECANISMOS EN LA CASA

En nuestras casas existen muchos dispositivos que incluyen en su funcionamiento elementos de control automático, que se denominan servomecanismos. Algunos son tan comunes que ni siquiera nos sorprenden. En aparatos como el horno eléctrico, el micro-ondas, la nevera y la plancha hay servomecanismos; y, en la cisterna del sanitario también.

Tal vez, de todos estos servomecanismos el más fácil de comprender es el suministro de agua que existe en la cisterna del sanitario. Recordemos que una vez se ha utilizado, la cisterna procede a llenarse de agua automáticamente y que cuando llega a determinado nivel de llenado, también automáticamente deja de entrar agua.

El diseño de la cisterna obedece a la intención de satisfacer una necesidad. Lo que queremos es que siempre haya agua disponible para el aseo del sanitario. Y que en este proceso no exista desperdicio.

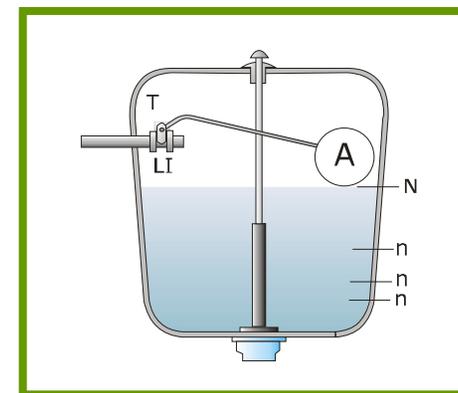
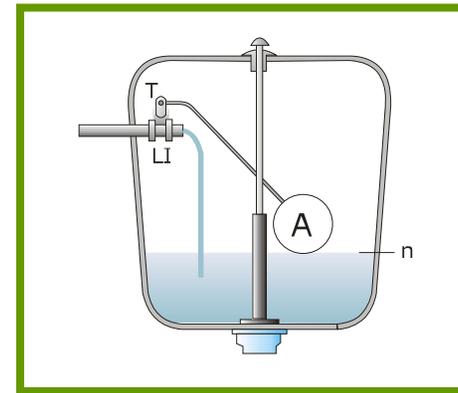
Veamos los dos diagramas siguientes.

1. En el primero se muestra la situación una vez se ha descargado el agua. El flotador se encuentra inclinado, con la bola **A** a nivel del agua y el otro extremo, el tapón **T** en una posición tal que el agua puede entrar a la cisterna (**LI**).
2. En el siguiente diagrama, el agua del agua ha llegado al nivel de referencia **N** (de llenado) y con él, la bola (**A**) del flotador, adicionalmente, el tapón **T**, se encuentra efectivamente taponando la entrada de agua.

El proceso de control automático que ha seguido el dispositivo entre el estado 1. y el estado 2. es el siguiente.

El sistema compara el nivel **n** del agua (y de la bola) con el nivel **N** de referencia.

- a. Si $n \neq N$, continúa entrando agua



.El tapón no taponna.

- b.** Cuando $n = N$, se interrumpe la entrada de agua. El tapón cierra .
- c.** Cuando, posteriormente, en cualquier momento, se dé que $n \neq N$, entonces volverá a entrar agua, hasta que $n = N$.

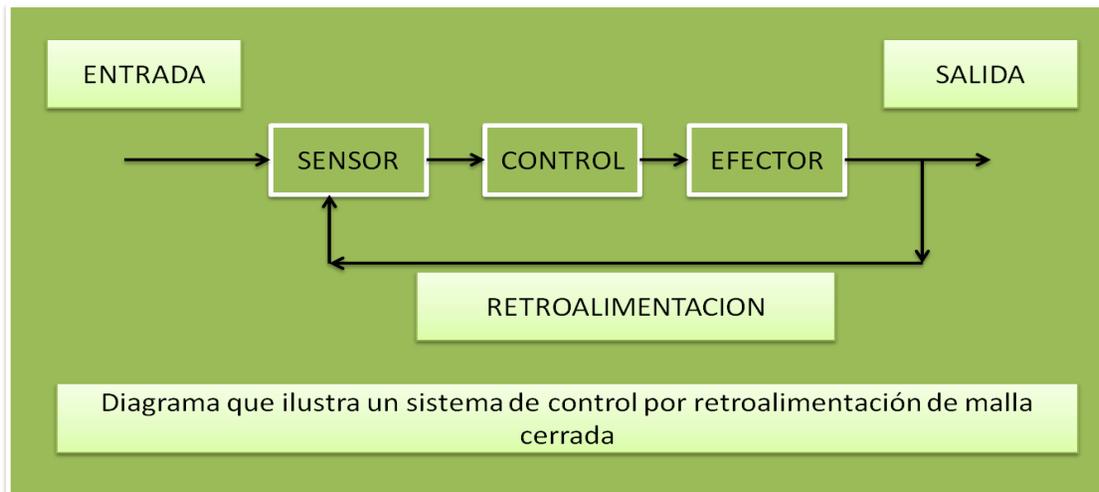
Existen muchas versiones de este mecanismo. En algunos casos a medida que sube el nivel se va obstruyendo la entrada de agua, hasta que se cierra totalmente cuando $n = N$. Es una variación continua; esto es, analógica. En el descrito antes, el sistema de control funciona como un interruptor y su manifestación es digital.

El siguiente esquema muestra el circuito de información, la entrada es el nivel del agua en la cisterna. El sensor es el detector del nivel (flotador), el control se concreta en la comparación entre n , el nivel real y N , el nivel de referencia. La orden que da el sistema puede ser:

Si $n \neq N$, continúa entrando agua. (SI).

Si $n = N$, se cierra el suministro de agua. (NO).

Sea la orden que sea, ella actúa sobre la entrada, sobre el nivel. Si es lo primero, manteniendo el aumento de nivel (esto es la entrada de agua), si es lo segundo, manteniendo el nivel constante; esto es, deteniendo el aumento de nivel.



Nótese:

- a. que la salida (el nivel del agua) que es el resultado del suministro de agua, se convierte en un dato que es tenido en cuenta por el sistema para continuar o no aumentando el nivel (esto es, suministrando agua) = retroalimentación.
- b. que cuando se concreta el control (cuando $n = N$), la orden se opone a la causa que la produce. El aumento de nivel desencadena la orden: detengan el aumento de nivel, que no entre más agua! : retroalimentación negativa.
- c. en el diagrama, la salida puede ser, o bien que continúe aumentando el nivel, o bien, que el aumento de nivel se detenga.
- d. El flotador que en un extremo tiene la bola que flota y en el otro el tapón que obstruye , es a la vez, el detector (la bola dice dónde está el nivel) y el efector, el tapón obstruye o no la entrada de agua y con ello el aumento de nivel del agua.

Debemos tener en cuenta que este es un circuito de información, que determina el estado del sistema, es un circuito lógico. En el sistema existe otro circuito, que es el circuito motriz, constituido por los tubos que transportan el agua..

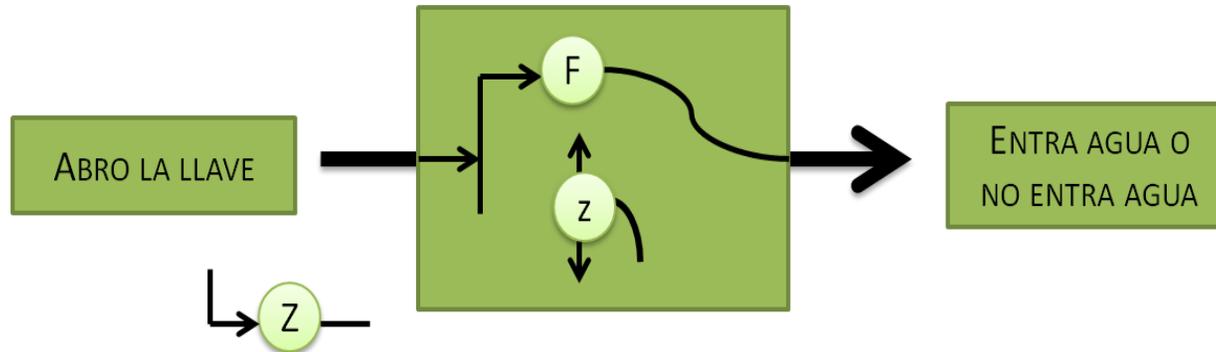
Podemos considerar este funcionamiento considerando lo que son las máquinas triviales y no triviales.

El sistema, el artefacto no es una máquina trivial con una única salida.

Una máquina trivial funcionaría así: Abro la llave, entra agua y aumenta el nivel.



Una máquina NO trivial, en cambio funciona de manera diferente:



Frente a una "entrada", la máquina puede, o bien mantener el nivel o aumentar el nivel. Lo que sucede depende de la historia de la máquina, no siempre responde de la misma manera, depende del estado, que es como se manifiesta la historia.

Si se encuentra en el estado I: con $n \neq N$, aumenta el nivel (entra agua).

Si se encuentra en el estado II: con $n = N$, no aumenta el nivel (no entra agua).

Una vez tratado este servo-mecanismo podemos abordar otros para los que el funcionamiento no es tan evidente. Tenemos así los eléctricos (con interruptores y relés) y los electrónicos con elementos activos como los transistores y los chips.

Entre los eléctricos son muy comunes los "servos" que, en algunos casos, mantienen una temperatura fija, a pesar de estar permanentemente enchufados; son ejemplos, una nevera, una plancha eléctrica, el aire acondicionado o los quemadores de la estufa eléctrica.

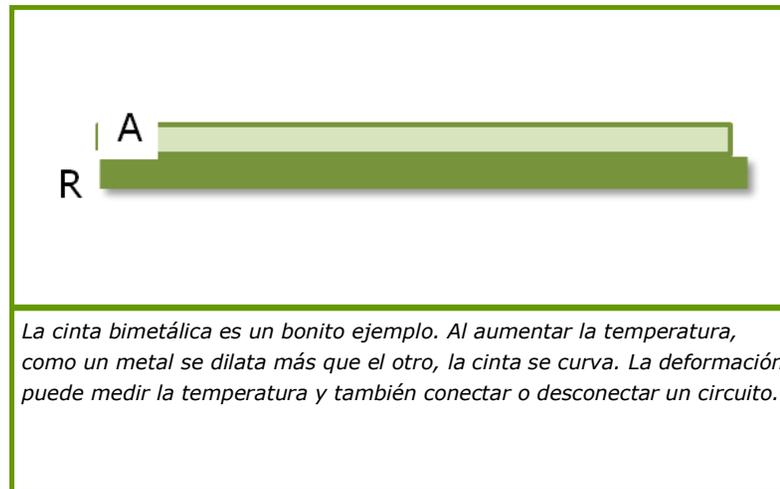
Para lograr esta tarea en algunos casos se utilizan termistores por ejemplo, que son elementos cuya resistencia es una función de la temperatura. Al aumentar la temperatura, por ejemplo, aumenta la resistencia y la corriente eléctrica que fluye por ellos disminuye. Si el calor que se produce depende de la corriente, al aumentar la corriente, aumenta el calor.

Consiguientemente al aumentar la temperatura aumenta la resistencia y al aumentar la resistencia disminuye la corriente y al disminuir la corriente disminuye la temperatura y al dis-

minuir la temperatura disminuye la resistencia y al disminuir la resistencia aumenta la corriente y al aumentar la corriente, aumenta la temperatura y Así sucesivamente, en un ciclo que mantiene la temperatura en una región deseable.

Estos ciclos son muy parecidos a los que considerábamos en la cartilla teórica al estudiar los bucles de retroalimentación y el equilibrio en casos como el regulador de Watt o algunos casos de la oferta y la demanda.

Los termistores son solo un ejemplo de cómo se logra mantener una temperatura constante, son muy variados, existen por ejemplo los termostatos bimetálicos en los que la forma varía con la temperatura.



Hacia la comprensión del comportamiento homeostático de los seres vivos a partir del estudio del funcionamiento de un robot electromecánico

GLORIA ESCOBAR

Integrante Grupo de Investigación ATA-epe

Planteamiento de la búsqueda

Es interesante ver que aunque los seres vivos habitan en ambientes cambiantes o totalmente diferentes entre sí, en general ellos mantienen los valores de sus condiciones corporales en rangos semejantes, como la temperatura corporal o la concentración de oxígeno en la sangre.

Si se hace el ejercicio de tomar la temperatura de una persona que vive en el polo (su temperatura ambiente oscila entre -45°C y -25°C) y una persona que vive al nivel del mar (con una temperatura ambiente promedio de 28°C), se observa que los valores de la temperatura corporal de los seres humanos está entre $36,5^{\circ}\text{C}$ y $37,5^{\circ}\text{C}$, por lo que nos vamos a encontrar que aunque estén en ambientes extremos los valores se mantienen relativamente constantes. Otro ejemplo que ilustra este tipo de situaciones es el grado de concentración de oxígeno en la sangre de una persona. Así, si comparamos la saturación de oxígeno en la sangre de una persona que vive a nivel del mar, donde hay una alta concentración de oxígeno en el aire (aproximadamente 17%), con el de una persona que vive a 3000 metros sobre el nivel del mar, donde la concentración de oxígeno es mucho más baja (aproximadamente 10%); encontramos que en estas dos situaciones extremas el valor de saturación de oxígeno en la sangre oscila entre 92 y 98.

Estos son ejemplos de múltiples casos que nos llevan a preguntarnos

¿a través de qué mecanismo se garantizan las condiciones básicas que permiten la vida de un ser vivo, en particular en el ser humano, en condiciones tan diferentes?

Existen otros interrogantes que se relacionan con el comportamiento de los seres vivos. En el caso de las plantas, por ejemplo, nos encontramos con que su crecimiento y la orientación de sus hojas guardan relaciones muy bien observadas con respecto a las fuentes de luz. Estos comportamientos podrían verse como una decisión que toma la planta para organizarse de la manera más eficiente para aprovechar la luz, que es un elemento insustituible para su crecimiento y desarrollo. Esta interpretación riñe de todas maneras con la biología misma.

Si el comportamiento de la planta no obedece a una decisión, ¿cuál es entonces la explicación de la conducta observada?

El estudio de los casos citados arriba sobre el equilibrio y el ejemplo anterior sobre el comportamiento de los seres vivos, pueden abocarse considerando la determinación estructural a que hacen referencia en *El árbol el conocimiento* H. Maturana y F. Varela y utilizando como punto de partida para la elaboración de la explicación los robots electromecánicos del proyecto ATA EPE.

Los robots electromecánicos

El estudio fisiológico de la manera como actúa el organismo de los seres vivos tiene algunas dificultades dado que los procesos químicos no son visibles fácilmente y la comprensión de esos procesos químicos en algunas ocasiones es complejo; por otra parte, nuestro sistema escolar en general no establece esta serie de relaciones sino que estudia los seres vivos de manera fragmentada e independiente del medio donde se encuentre. Es por ello que nuestra propuesta pedagógica plantea el trabajo con los **robots electromecánicos** como una opción para comprender la homeostasis (en el caso de los seres vivos se hace referencia a la **homeostasis**, en el caso de un artefacto, robot u otro aparato, se habla de **autorregulación**. Por lo tanto, en lo que sigue se hará referencia a la autorregulación y regresaremos a la homeostasis al volver a los seres vivos).

El grupo de investigación del proyecto ATA-epe ha construido varios prototipos de robots electromecánicos: el ratón, la termita, el toro y el cangrejo; ellos responden a una concepción de funcionamiento: la autorregulación por medio de la retroalimentación.

En términos generales, un robot electromecánico se ha construido para que responda de determinada manera en el medio en el que se encuentre. En este sentido, al hablar de aparatos que funcionan a partir de la retroalimentación, se está haciendo referencia a aparatos que in-

teractúan con el medio.

Como lo veremos al estudiar los seres vivos, en los robots existen también tres elementos fundamentales que son los que permiten su funcionamiento: *un sensor, un sistema de control y un efector.*

Antes de ubicar estos tres aspectos miremos cuáles son sus partes:

"El artefacto está compuesto por varias partes:

- 1. Chasis o esqueleto del móvil.*
- 2. Sistema de tracción compuesto por dos motores, dos ruedas poleas y una rueda libre.*
- 3. Un circuito eléctrico que incluye los dos motores eléctricos, la batería de 9 voltios, el interruptor general, los cables y el sensor mecánico (interruptor).*

El circuito lógico que está constituido por el sensor mecánico y el circuito eléctrico. El sensor es el contacto del móvil con su entorno. Su respuesta es digital: Hay o no hay contacto, esto es 1 o 0. Para (1) actúa el motor cercano a la pared. Para (0) actúa el motor distante de la pared."¹

Este listado de partes muestra que su estructura está conformada por una parte mecánica y por una parte lógica, de esta manera tiene una estructura que le da forma y le permite tener movimiento y por otro lado, posee un circuito lógico que incluye el sensor a través del cual recibe información del medio donde se encuentra para enviarla luego, al circuito eléctrico que va a dar una respuesta acorde a las condiciones en las que se encuentra.

Veamos de manera más detenida el robot electromecánico "ratón" (FIGURA)

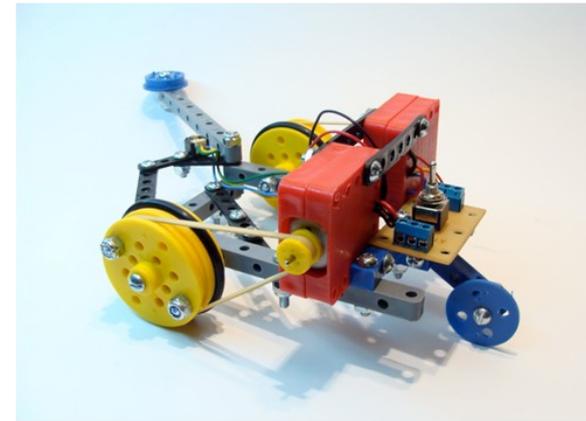
Cuando está funcionando el ratón su rueda izquierda se mueve mientras la derecha está desconectada. Como consecuencia nuestro robot simplemente da vueltas hacia la derecha. Si en su cercanía hay una pared, su movimiento se interrumpe en cuanto la palanca delantera toca la pared (actúa el interruptor). En tal momento deja de moverse la rueda izquierda e inicia el movimiento la rueda derecha. Como consecuencia, el artefacto se distancia de la pared. Sin embargo, cuando se distancia se desconecta la rueda derecha y se conecta la

¹ Segura, D. Móviles electromecánicos. Corporación Escuela Pedagógica Experimental. 2010

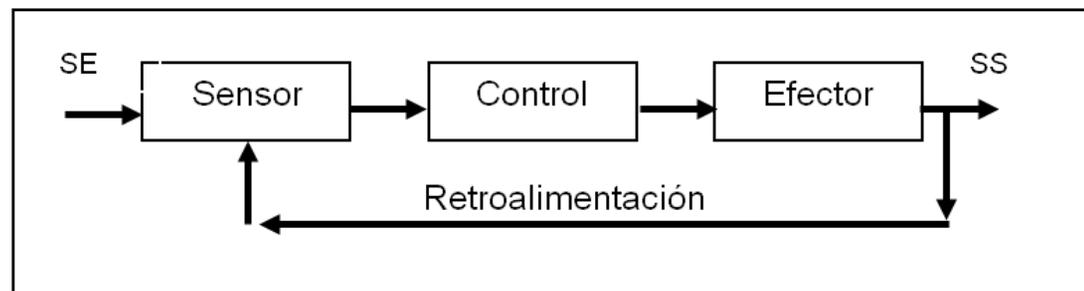
izquierda de tal suerte que vuelve a su comportamiento original, moviéndose hacia la derecha (actúa el interruptor). Lo que resulta entonces es que vuelve nuevamente la palanca a tocar la pared, la rueda izquierda a detenerse y la rueda derecha a funcionar (actúa el interruptor).

En este comportamiento el ratón se mueve contra el "guarda escobas" de la pared, acercándose y separándose de ella. Notemos que cuando se consigue el objetivo de acercarse, se separa y que cuando se consigue el objetivo de separarse se acerca. Es decir, la respuesta siempre es lo contrario de "lo que se propone". La retroalimentación es negativa.

El elemento que establece el contacto del artefacto con su entorno, la palanca, es el **sensor**, que está conectado directamente con el interruptor. La manera como están conectados los cables a los motores constituyen el circuito de **control**. Son estos cables los que determinan que cuando se aleje de la pared, se acerque a ella y que cuando de acerque, se aleje. Las consecuencias de estas conexiones se concretan en los motores que se constituyen en **los efectores** que mediante las ruedas hacen que el ratón se mueva en una u otra dirección.



El comportamiento del artefacto se ilustra en su aspecto lógico en el diagrama siguiente.



Cuando el ratón está en funcionamiento sigue contra la pared y puede incluso doblar las esquinas. Para un observador "el ratón toma decisiones. En vez de continuar moviéndose en línea recta, decide doblar la esquina y seguir contra la pared.

Para quien lo construyó, la conducta del artefacto simplemente responde, o es una consecuencia, de su determinación estructural. No existe la toma de decisiones.

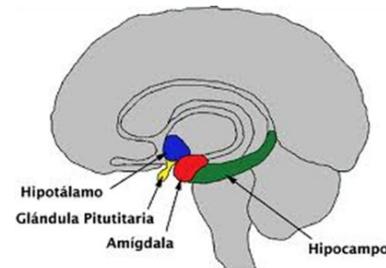
En general, en los diferentes robots electromecánicos se observan los tres elementos fundamentales que intervienen en los procesos de autorregulación que les permite tomar decisiones cuando interactúa con el medio que los rodea; además, la manera como están contruidos es fácil ubicar e identificar dichos elementos, es por ello que pensamos que los robots electromecánicos son una excelente oportunidad para comprender los procesos homeostáticos de los seres vivos.

Mecanismo que regula el equilibrio en los seres vivos

Desde el momento en el que todos los seres vivos comienzan su desarrollo celular están en continua interacción con el medio que los rodea, ya sea en un cascarón de huevo o en el vientre de su madre. De la misma manera, desde el momento que nacen continúa la interacción con el medio que los rodea; así como los seres acuáticos están inmersos en el agua y cualquier sustancia o condición que la altere afecta a sus habitantes; los seres aéreos estamos inmersos en el aire que también se ve afectada por diversas circunstancias.²

Es por ello que todos los seres vivos cuentan en su anatomía con estructuras y mecanismos que regulan los niveles de concentración de sustancias o el funcionamiento de las estructuras teniendo en cuenta el cambio del medio.

La fisiología de los seres vivos responde a dos tipos de situaciones: las que se presentan a largo plazo y los cambios súbitos mediante la reacomodación de sustancias y estructuras; este proceso lo coordina "el hipotálamo". El hipotálamo hace parte del sistema límbico que, según Guyton () son los circuitos neuronales que controlan las fuerzas impulsoras de las motivaciones y del comportamiento emocional.



[limbicsystem.gif](http://www.psicologia-online.com/limbicsystem.gif). psicologia-online.com.
Sistema Límbico.
(tomado de <http://www.psicologia-online.com/ebooks/general/emotional/htm>)

² En los seres pluricelulares se hace referencia a dos tipos de ambiente: **ambiente externo**, es el que rodea al ser vivo en general y **ambiente interno**, es el ambiente que rodea a las células. El ambiente cambia por diversas circunstancias, por ejemplo por condiciones meteorológicas y climáticas o por desplazamientos a zonas de diferente altitud; estos cambios generan aumento o disminución de temperatura, concentración de oxígeno, concentración de luz, presencia de sustancias que "irritan" el sistema inmunológico, etc.; en cuanto al ambiente interno, se presentan variaciones en la concentración de iones, concentración de glucosa, concentración hormonal, entre otros factores.

El sistema límbico controla actividades que se conocen como funciones vegetativas del cerebro y que tienen que ver con el comportamiento.

En particular el hipotálamo regula acciones como la temperatura corporal, el impulso de comer y beber, entre otros. Este es el principal centro de integración de los sistemas nervioso y endocrino. El hipotálamo tiene conexión con la glándula hipófisis (o pituitaria) mediante la liberación de hormonas; la glándula hipófisis actúa liberando hormonas específicas que operan sobre los órganos que cambian la acción cuando el hipotálamo detecta algunos cambios en el cuerpo, como la temperatura.

¿Cómo funciona el mecanismo de regulación?

Los seres vivos estamos en continua interacción con el medio que nos rodea, en su dinámica propia este medio tiene características cambiantes que son percibidos por los seres vivos a través de sensores específicos para determinados estímulos; en particular en la escala animal es el sistema nervioso el que realiza este proceso. La nueva información es la que genera cambios en los seres vivos para mantener las condiciones internas en los rangos óptimos para la continuidad de la vida.

Este proceso lo conforma tres componentes básicos: un sensor, un sistema de control y un efector

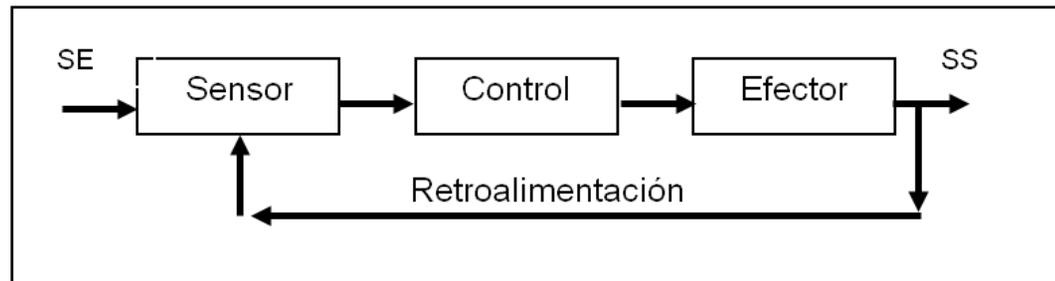


Fig. 2. Componentes básicos del proceso regulación de los seres vivos frente a los cambios ambientales. (Basado en la imagen de "La autorregulación, un universo de posibilidades. 1999")

En la figura se presentan los siguientes aspectos:

Señal de entrada: es la información que proviene del medio

Sensor: recibe la información externa y las variaciones de la señal de salida

Circuito de control o elemento de decisión: compara los mensajes (los valores óptimos preestablecidos para el funcionamiento normal del organismo con los cambios ambientales) y transmite a un efector

Efector: son las acciones que realizan o ejecutan la acción de control

Señal de salida: es el comportamiento real del sistema

Retroalimentación: es la fracción de señal de salida o una función de ella que regresa al detector de error. Estas variables deben ser de la misma naturaleza.

El proceso a través del cual se mantienen las condiciones de equilibrio de la estructura del ser vivo se le denomina **homeostasis**.³ En la homeostasis la información exterior es transportada a través de los *sensores* al sistema de *control* donde se compara la información preestablecida genéticamente con la nueva información, si la información puede alterar las condiciones biológicas del ser vivo, el sistema de control envía información al *efector* para que desarrolle las acciones que producen los cambios necesarios para estabilizar nuevamente el sistema.

Esta manera de actuar del sistema biológico involucra la **retroalimentación**, esta se presenta cuando la información de las acciones que adelantó el sistema efector vuelve al sensor y de esta manera regresa al sistema de control, si la información que regresa al sistema de control es la adecuada, la orden inicial permanece; si esta información no es la adecuada, el sistema de control envía una nueva información que altera la manera de actuar del efector. A la par de este proceso sigue entrando al ser vivo la información proveniente del ambiente que puede generar nuevos cambios o no.

Ejemplificando la situación...

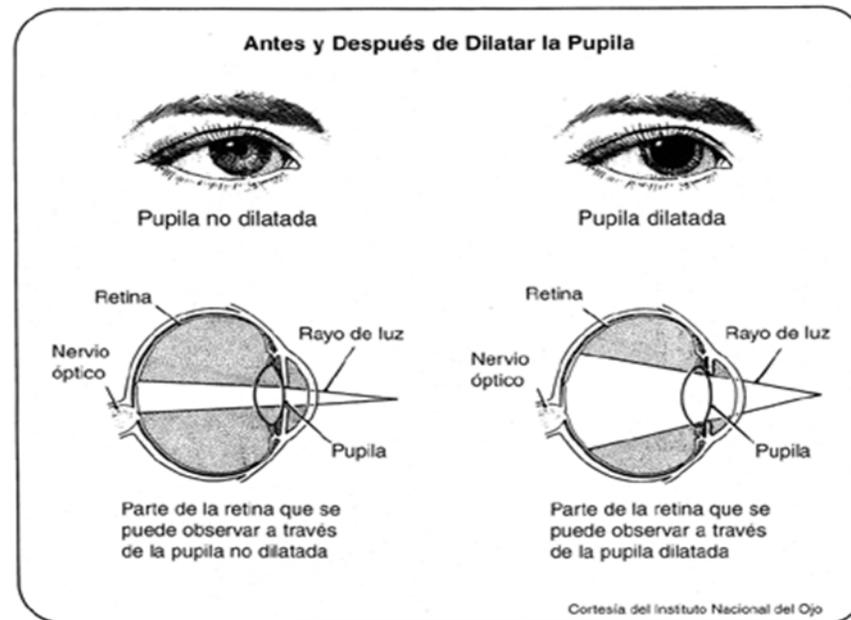
Son varias las situaciones que se pueden mencionar, al inicio del escrito se mencionaron dos situaciones que se regulan a través de este proceso. A continuación se va a describir otro proceso homeostático con mayor detalle.

³ En 1932 el biólogo Walter Cannon ganó el premio Nobel por publicar las características que rigen la homeostasis. Cannon explica que eligió el prefijo "homeo" que significa semejante o similar y no el prefijo "homo" que significa igual ya que el medio interno de los seres vivos se mantiene en un rango de valores y no en un valor fijo. El sufijo "estasis" hace referencia a una condición y no a un estado invariable. Sin embargo las características de este comportamiento, según Arechiga (2000), se maneja desde la época de los filósofos presocráticos (490-430 a.C.) a través del estudio del concepto de equilibrio que se refleja en el estado de salud de las personas. Bateson (1997) y Pedreros y otros (1999) referencian también datos históricos que tienen que ver con el estudio de este comportamiento.

Dilatación y contracción de la pupila

La pupila es el orificio que regula la entrada de luz al ojo, el tamaño de esta cambia teniendo en cuenta la intensidad de la luz, este mecanismo se activa de manera automática e involuntaria Guyton (1990:561) escribe que una de las principales funciones del iris es la de aumentar la cantidad de luz que entra en el ojo durante la oscuridad y disminuirla cuando hay mucha claridad.

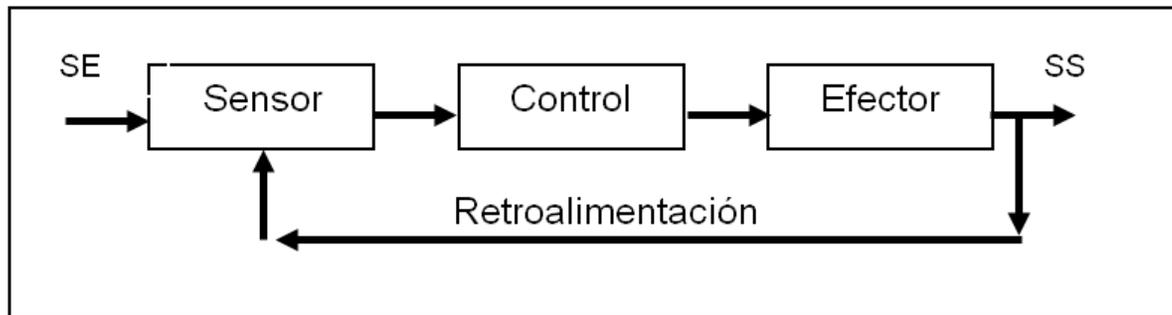
Uno de los factores por lo que se debe controlar la cantidad de luz que ingresa a la retina es porque podría lesionarla ya que es una de las estructuras sensibles del ojo. Además de esto, Guyton (1990:561) dice que la mayor profundidad de foco posible se consigue cuando la pupila es sumamente pequeña y que el proceso de dilatación y contracción de la pupila participa en el proceso de adaptación a la luz y a la oscuridad del ojo.



La cantidad de luz que ingresa a través de la pupila también define el tipo de células fotosensibles estimuladas. Las células fotosensibles son de dos tipos: conos y bastones que corresponden a las terminaciones de la gran cantidad de fibras nerviosas que forman el nervio óptico. Los conos perciben el color y los bastones el blanco y negro. Curtis y Barnes (1985:877) escriben que los bastones no suministran un grado de resolución tan grande como los conos, pero son más sensibles a la luz que estos. Es por ello que la cantidad de luz que ingresa por la pupila incide en el tipo de visión que tengamos en determinado momento los seres humanos.

Tomado de: <http://www.google.com.co/imgres?q=pupila>

Para entender cómo funciona la apertura o cierre del orificio de la pupila vamos a tener en cuenta el siguiente diagrama:



La **Señal de entrada** es la intensidad lumínica,

El **Sensor** es el ojo, en particular son las fibras simpáticas y parasimpáticas⁴ las que inervan las estructuras de la pupila.

El **Circuito de control o elemento de decisión** para esta acción particular es el hipotálamo. Esta estructura es la que compara la intensidad luminosa que ingresó por el sensor con la intensidad que puede recibir la retina. Dependiendo del valor comparado, el hipotálamo envía la señal de reacción al efector a través de las fibras simpáticas o parasimpáticas (dependiendo de la acción que se vaya a realizar).

El **Efector** lo constituyen en este caso las estructuras que cambian el grado de dilatación del iris.

Señal de salida: es el grado de dilatación o contracción del iris.

Retroalimentación: en esta acción es la cantidad de intensidad lumínica que está ingresando después del cambio que se produjo en el iris. Es pertinente volver a revisar los valores para corregir nuevamente la postura del iris o para mantenerla.

Cuando entra a los ojos un exceso de luz las fibras parasimpáticas contraen el músculo circular del iris. Si la cantidad de luz es baja, las fibras simpáticas contraen las fibras meridionales del iris que dilatan la pupila. Las pupilas se cierran con mayor rapidez que con la que se abren por lo que se produce una mejor adaptación cuando pasamos de la oscuridad a la claridad que cuando pasamos de la claridad a la oscuridad.

⁴ Estas fibras hacen parte del sistema nervioso autónomo. Este sistema tiene la capacidad de responder con rapidez y de manera intensa las funciones viscerales. A esta parte del sistema nervioso se le denomina autónomo porque no se puede controlar de manera voluntaria.

¿Por qué es conveniente trabajar esta manera de comprender la fisiología con los estudiantes?

Es amplia la lista situaciones que ocurren en nuestro cuerpo y que responden a este modelo de acción, por ello es pertinente desarrollar estrategias que apunten a la comprensión de este fenómeno de parte de los estudiantes. Además, esta manera de estudiar el funcionamiento fisiológico involucra gran cantidad de variables que aportan en la superación de la visión causa efecto que dificulta la posibilidad de comprender los fenómenos multidimensional.

Consideraciones finales

El estudio de la fisiología es una oportunidad para centrar la atención de los estudiantes en los estudios biológicos, sin embargo es preciso ver los fenómenos desde la óptica de la complejidad de los procesos fisiológicos porque de esta manera se comprenden las relaciones de los diferentes sistemas que se encuentran en un ser vivo.

Esta manera de comprender la fisiología de los seres vivos no solo se encuentra allí sino que el hombre ha desarrollado aparatos tecnológicos a partir de concepción, algunos ejemplos son la plancha, el horno, la lavadora, el timbre, la cisterna, entre otros.

Además otros procesos naturales también se pueden analizar desde esta concepción, este es el caso de Estudio de poblaciones: ¿qué sucedería si en una pradera eliminamos los coyotes que se comen a los conejos?.

Bibliografía

- Aréchiga, H. Conceptos. Homeostasis. Universidad Nacional Autónoma de México. México, 2000
- Bateson, G. Espíritu y Naturaleza. Amorrortu editores. Buenos Aires. 1997
- Curtis, H. Barnes, N. Biología. Editorial Médica Panamericana. 1993.
- Guyton, A. tratado de fisiología médica. Mc Graw Hill Interamericana. 1990

Pedreros Y Otros. La autorregulación, un universo de posibilidades. Colección Polémica Educativa. Escuela Pedagógica Experimental-Colciencias. Colombia. 1999

Segura D. Sistemas Dinámicos, aproximaciones iniciales. Escuela Pedagógica Experimental. 2008

Segura D. La Propuesta ATA-epe. Una alternativa para la Introducción de la Ciencia-Tecnología en la Escuela. 2010.

Segura, D. Móviles electromecánicos. Corporación Escuela Pedagógica Experimental. 2010

BIONICA , COPIAMOS DE LA NATURALEZA

APROXIMACIÓN A LA BIÓNICA

En la prensa internacional apareció recientemente una noticia que daba cuenta de un nuevo ejemplo que se añade a la ya larga lista de casos en que se utilizan las "soluciones" que se encuentran en la naturaleza, para resolver problemas en la tecnología. En este caso el problema

NORTHPORT, EE.UU.- Un nuevo método para captar energía solar ha polarizado a los científicos alrededor del mundo y encendido un feroz debate en Internet, donde el joven innovador ha sido llamado desde extraterrestre hasta agente de una conspiración global. El científico en cuestión es Aidan Dwyer, de tan sólo 13 años.

A mediados del año pasado, Aidan ganó una competencia nacional de ciencia con lo que aparentaba ser una idea brillante: su investigación parecía demostrar que los paneles solares organizados como las hojas de un árbol captan la luz solar con mayor eficiencia que la disposición tradicional. Muchos en Internet denominaron al adolescente de Long Island como un "genio" que logró un verdadero "avance" en la energía solar. Otros lo elogiaron por corroborar que los diseños naturales son superiores a los del hombre...

Tomado de Wall Street Journal el 10 de enero de 2012 <http://www.lanacion.com.ar/1438213-la-brillante-idea-de-un-nino-cientifico-desata-una-tormenta-eléctrica-en-internet>.

que se resolvió tenía que ver con la manera de disponer los paneles solares para obtener una mayor eficacia en la producción de energía eléctrica. Lo que hace que la noticia tenga mayor interés es que el científico es un niño de tan solo 13 años, Aidan Dwyer; nuestro héroe se propuso disponer los paneles solares de la misma manera a como están dispuestas las ramas de los árboles, tomando como hipótesis que la naturaleza ha llegado a la disposición más eficaz. Fue así como los organizó de acuerdo con la conocida serie de Fibonacci (la serie es 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, ...).

La utilización de las soluciones y diseños que se encuentran en la naturaleza para resolver problemas en la tecnología es muy antigua pero solamente se convirtió en ciencia hace unos sesenta años, se trata de la biónica.

Sobre esto existen casos muy conocidos desde las referencias en la mitología con los vuelos de Ícaro, hasta la identificación de la forma de los peces y las aves para proyectar los aviones y submarinos.

A propósito, alguien muy relacionado con esta manera de pensar es Leonardo da Vinci.

Entre los ejemplos que están cerca de nosotros encontramos los sistemas de comunicación mediante los radares y sonares. Ahora bien, el remedo que hacemos de la naturaleza no se restringe a soluciones en la ciencia. Un ejemplo muy común es la copia que se hace de las conductas y estratagemas de los camaleones cuando se camuflan.

La investigación en esta dirección ha sido muy fecunda y encierra un reto permanente en cuanto los desarrollos creados por el hombre no han llegado nunca a la eficiencia que logra la naturaleza.

En cierta medida la biónica puede describirse diciendo que se trata de proponer soluciones a nuestros problemas elaborando "modelos (de explicación)" o alternativas eficientes cuya fuente son o bien las estructuras o bien las formas de funcionamiento tomadas de la naturaleza.

En la actualidad el pensamiento está recorriendo este mismo camino también en sentido inverso. Es decir, en nuestros días se están tomando elementos de elaboración humana (por ejemplo los ordenadores) para a partir de ellos modelar el funcionamiento de los organismos (por ejemplo el cerebro). Es en este sentido que nuestros REMs pueden convertirse en puntos de partida para la comprensión de los procesos de aprendizaje y de las conductas que exhiben los organismos, considerando la determinación estructural que comparten estos y los robots y enfatizando en los procesos de homeostasis que caracterizan a los seres vivos en interacción con su entorno y a las situaciones de equilibrio que se consiguen.

En este punto, desde la perspectiva escolar es posible enriquecer los entornos de aprendizaje con discusiones como las siguientes.

-1-

En qué medida puede concebirse cada uno de los mecanismos y artefactos que ha construido el hombre en su historia como "una prolongación" de sus propias capacidades, más allá de los órganos de los sentidos, que evidentemente son intensificados y ampliados con los instrumentos que se fabrican. Esto se puede tratar con la manipulación de telescopios y lupas, de altavoces y micrófonos, de sensores y detectores.

-2-

Por otra parte, asuntos como las modificaciones y transformaciones que se hacen son aceleradas e intensificadas con las máquinas. Tenemos así todo un arsenal de ejem-

plos y posibilidades para estudiar el movimiento (en tierra, en mar y en aire); con rapidez o con precisión; de las grúas y herramientas excavadoras y aplanadoras.

-3-

Finalmente nos encontramos con los desarrollos en la información y la comunicación, los procesadores, las diferentes variedades de memorias: de documentos, de acontecimientos, de sonidos, etc. Entran en juego las habilidades para correlacionar acontecimientos que usualmente son importantes en las tareas de explicación, que han sido dinamizadas por los desarrollos de la estadística. Nos encontramos entonces con programas que establecen las variables, calculan las correlaciones y proponen las relaciones funcionales al abocar problemas de múltiples variables.

Todas estas actividades nos llevan a preguntarnos por la importancia que ha tenido en tales búsquedas el pensamiento biónico, esto es la búsqueda de soluciones a nuestras necesidades o a necesidades similares, en la naturaleza misma.

Cómo ha influido esa observación en los diseños de las naves para transporte?

Que incidencia se evidencia al pensar en brazos mecánicos y en manos automáticas?

En la comunicación, cómo influyen para los desarrollos tecnológicos los conocimientos que tenemos de los murciélagos y delfines?

Finalmente, el estudio y comparación de los métodos y estrategias para solucionar los mismos problemas o problemas semejantes, en el ámbito de lo natural y en el de la industria.

La comparación de la eficiencia de una bomba construida por el hombre con una bomba como el corazón, es interesante.

El estudio del manejo y transformaciones de la energía en los ecosistemas y en los organismos y su comparación con lo que se consigue en la tecnología es interesante cuando se buscan otras opciones que pueden ser a la vez, más limpias y más eficientes.

LA DETERMINACIÓN ESTRUCTURAL

Los Robots electromecánicos (REM) están estructuralmente determinados, entre otras cosas, eso significa que su comportamiento está determinado por su estructura y no por elementos externos a ella. La interacción de los REM con el entorno hace que se desencadenen ciertas respuestas que están previstas estructuralmente, lo que hace el entorno es gatillarlas. Como veremos, tal circunstancia es también la de los seres vivos. La interacción del ser vivo con su entorno gatilla respuestas (sensaciones, por ejemplo) que están determinadas estructuralmente. Veamos cómo se puede describir tal determinación estructural en el caso de los organismos.

Somos activos incluso en la percepción.-

Frente a la imagen espontánea de nuestra relación con el mundo, según la cual nosotros como organismos pasivos estamos expuestos a las informaciones procedentes de nuestro entorno para a partir de tal interacción producir una imagen de ese mundo en que vivimos, nos encontramos con que los seres vivos en general, y particularmente nosotros mismos, somos seres activos, no solo en cuanto elaboramos la información que percibimos, sino en la percepción misma, y esto es así porque los organismos vivos están estructuralmente determinados.

La determinación estructural hace que nos comportemos como máquinas. Veamos un ejemplo. Cuando alguien acciona el interruptor, la lámpara se prende y el aposento se ilumina. La pregunta que surge es cuál es la causa de esta respuesta. Podemos encontrar múltiples respuestas, los movimientos de la mano o las intenciones del organismo al que pertenece esa mano, por ejemplo. Para los propósitos de este escrito diremos que lo que hace la mano al actuar sobre el interruptor es "desencadenar" una conducta (o un funcionamiento) que estaba impresa en el circuito. El circuito es un algo que está estructuralmente determinado. En nuestro entorno existen muchos objetos y artefactos que están estructuralmente determinados: las cerraduras, los radiorreceptores, los teléfonos. Estos artefactos responden de acuerdo con su determinación estructural.

¿Hay relación entre lo que se percibe y lo que gatilla la percepción?.

Lo que es importante de todo esto es que lo que resulta cuando se desencadena aquello que está estructuralmente determinado no tiene ningún parecido ni relación con la acción que

produce el desencadenamiento. La luz de la lámpara no tiene ninguna relación con la mano que actuó sobre el interruptor, la letra que aparece en la pantalla del ordenador no tiene ninguna relación con el dedo oprimiendo la tecla respectiva. Y, cuando decimos que somos organismos estructuralmente determinados, lo que estamos afirmando es que en nuestro organismo se encuentran "estructuralmente determinadas" ciertas respuestas a los encuentros del organismo con el mundo que nos rodea, que no tienen nada que ver con los estímulos que desencadenan las respuestas.

Lo que nosotros percibimos son las respuestas de nuestro organismo a los estímulos del exterior. Veamos unos ejemplos.

Cuando un objeto cae y se estrella contra el suelo, si no existe un organismo que posea oídos, la caída es silenciosa. Y es silenciosa no porque no haya quien escuche el ruido que produce la caída, sino porque el ruido se produce en el oído, no existe en el mundo exterior. Dicho de otra manera. En las clases de física nos han enseñado que los golpes o choques de los cuerpos entre sí lo que hacen es producir una onda mecánica, de compresiones y depresiones del aire que se propaga en el espacio vecino al sitio donde se produce el choque o el golpe. Cuando esta onda longitudinal llega al oído, el oído la percibe como un ruido. El ruido no está en el mundo exterior es la respuesta de la interacción de la onda con el aparato auditivo.

Una cosa similar se presenta con un frasco de perfume que dejamos en algún lugar de la habitación. Cuando ha transcurrido cierto tiempo, el olor o la fragancia del perfume llega hasta nosotros, ¿qué es lo que ha llegado hasta nosotros?, los químicos nos dirán que un radical. Pues bien, cuando llega este radical a nuestro aparato olfativo, este responde con una sensación de fragancia, que no existe en el mundo exterior, sino que es la respuesta que desencadena nuestro organismo a la interacción del radical con nuestro aparato olfativo.

Lo mismo puede decirse de los colores, que con frecuencia se conciben como propiedades de los objetos: manzanas rojas, naranjas amarillas, ojos castaños, etc. El color de algo es la respuesta de nuestro aparato receptor a su encuentro con una onda luminosa incolora. El color de la manzana es algo que está estructuralmente determinado en nuestro organismo, no está en la manzana sino en nuestro organismo.

Es tal vez por esto que R. Llinás afirma que "vivimos en un mundo oscuro y silencioso que nuestro cerebro ha llenado de colores y sonidos".

Esto sucede a nuestro alrededor permanentemente. Nadie se sorprende porque una semilla germine. Sin embargo la pregunta de por qué la semilla de frijol produce una planta de frijol es inmediata: *pues porque es de frijol o, ¿esperabas que naciera una de alverja?* Es decir, la

planta que germina es de fríjol porque esa semilla está estructuralmente determinada, es una semilla de fríjol y lo que hacen las condiciones externas es desencadenar la germinación (de una semilla de fríjol).

Consecuencias de la determinación estructural.

No nos preguntemos todavía cómo se construye esa determinación estructural. Aceptemos, por el momento que estamos, como organismos vivos que somos, estructuralmente determinados y veamos algunas de las consecuencias de ello para nuestra vida diaria. Con respecto a esto que decimos recordemos que Humberto Maturana y Francisco Varela en el primer capítulo de su *Arbol del Conocimiento* anotan que:

“Qué estados de actividad neuronal son gatillados por las distintas perturbaciones está determinado en cada persona por su estructura individual y no por las características del agente perturbante.”

“Lo que tomamos como una simple captación de algo (tal como espacio o color) tiene la estampa indeleble de nuestra propia estructura.”

“Cuando examinemos más de cerca cómo es que llegamos a conocer ese mundo, siempre nos encontraremos con que no podemos separar nuestra historia de acciones - biológicas y sociales- de cómo nos aparece ese mundo. Es tan obvio y tan cercano que es lo más difícil de ver”.

(En donde gatillar es tomado por nosotros como desencadenar.)

Si no consideramos la determinación estructural de nuestros REMs, diremos que a partir de su interacción con el entorno, deciden moverse de una o de otra manera. Si, por el contrario, la consideramos, lo que hacen, visto por un observador informado no es otra cosa que obedecer a su determinación estructural.

Lo importante para nuestros planteamientos es que éste razonamiento es válido para interpretar las respuestas de los organismos en su interacción con el entorno.

Bateson (p. 125) anota, por ejemplo:

“cuando una planta crece se inclina hacia la luz, es influida por la diferencia de iluminación y crece con más rapidez del lado más oscuro; esto hace que se incline y atrape más luz ...”

Existe pues una determinación estructural cuando se dice que crece con más rapidez del lado más oscuro y esto explica la inclinación. Así pues, no es la respuesta de la planta a la necesidad de luz sino simplemente el gatillaje que se da por la diferencia (de iluminación).

Tal vez la mejor manera de hacer una introducción de los sistemas dinámicos es volviendo sobre la diferencia que plantea H. Von Foester entre máquinas triviales y máquinas no triviales¹. Veamos.

Cuando accionamos nuestros electrodomésticos lo que esperamos es que funcionen como está previsto que funcionen. Por ejemplo que la licuadora funcione para preparar los jugos y que la nevera mantenga a una temperatura baja los alimentos y los interruptores conecten y desconecten las lámparas. Y, además, que cuando se gira la llave en el encendedor del carro, el carro se ponga en funcionamiento y cuando se desee abrir la puerta con la llave, la llave funcione, etc. Mi mayor esperanza es que las cosas funcionen para aquello para lo que fueron diseñadas. En estos términos estoy en el universo de las máquinas triviales. Esas máquinas son el ideal de las ciencias clásicas. La respuesta a una determinada entrada será siempre la misma.

Máquinas con historia, la retroalimentación

Existe otro universo, el de las máquinas no triviales. Las máquinas NO –triviales tienen historia y por tenerla su funcionamiento depende de la historia. Hasta hace poco los representantes más claros de las máquinas no triviales eran los seres vivos. Un ser vivo está en interacción con su entorno y cada encuentro con él lo transforma, así como también el entorno resulta transformado. En la siguiente interacción el ser vivo no es el mismo que existía antes, de tal suerte que para cada uno de los seres interactuantes se trata de una interacción recurrente. En este proceso se da un acoplamiento recíproco² *ser vivo – entorno*. Debemos notar que cuando se da la segunda interacción quienes interactúan ya no son los mismos que interactuaron la primera vez, quienes interactúan son los seres transformados por la primera interacción, y así sucesivamente en las siguientes interacciones.

Hemos encontrado también que las instituciones se transforman en su dinámica de funcionamiento, hasta tal punto que se anota que las instituciones aprenden y que las escuelas aprenden³.

1 Las semillas de la cibernética.

2 Maturana y Varela, El árbol del conocimiento.

3 Escuelas que aprenden, la quinta disciplina.

Esta manera de ver, en la que las consecuencias de lo que hacemos no se limitan al instante en que se ejecutan las acciones sino que se da una cascada de acciones y reacciones, es una de las características de la mirada por sistemas. Esta cascada de acciones puede eventualmente convertirse en un bucle de tal suerte que estaremos ante la retro-alimentación. En tal caso las nociones de causa y efecto se confunden.

Y la retroalimentación puede reforzar las consecuencias de la acción o convertirse en algo que las detiene o minimiza. La retroalimentación puede ser negativa o positiva, según el caso.

Si alguien quiere hacerse escuchar en medio de las conversaciones, en cuanto él aumenta el volumen de su voz puede también aumentar el volumen del ruido del entorno, como consecuencia aumenta aún más la intensidad de la voz, lo que puede conducir a un aumento mayor del ruido y, así sucesivamente, hasta lo que se denomina caos, en el caso de la retroalimentación positiva.

Cuando una corriente eléctrica pasa por una resistencia se produce calor y aumenta la temperatura, al aumentar la temperatura se disminuye la resistencia. Al disminuirse la resistencia aumenta la corriente y al aumentar la corriente se aumenta la temperatura. Si continúa así el proceso, tendremos en un momento temperaturas tan altas que el sistema se destruye.

Existen otros conductores eléctricos que cuando se calientan, aumentan la resistencia. En estos, con el aumento de la resistencia se da una disminución de la corriente eléctrica y consiguientemente una disminución de la temperatura. Al disminuir la temperatura disminuye la resistencia, aumenta la corriente y aumenta la temperatura. En este caso se puede ver cómo en el bucle, el aumento de la temperatura conduce a su disminución y el aumento de la corriente eléctrica, conduce también a su disminución. El efecto se opone a la causa que lo produce. Se trata de retroalimentaciones negativas, que eventualmente pueden llegar al equilibrio, en cuanto la temperatura oscila alrededor de un punto de equilibrio dinámico.

Estos ejemplos muestran cómo lo característico de los sistemas son las interacciones entre los elementos del sistema⁴.

Ahora bien, los sistemas pueden ser abiertos, si en su funcionamiento existe algún intercambio de energía, masa o información con el entorno. En este caso puede darse la auto-organización,

⁴ Ver *Teoría General De Sistemas* de L. V. Bertalanfy

mientras que en los sistemas cerrados en el devenir del sistema aumenta el desorden; esto es, aumenta la entropía.

Una manera de mirar y la recurrencia

Los sistemas dinámicos son una manera de mirar el mundo. Sus bucles de causalidad contradicen las miradas de causalidad lineal, características de las miradas deterministas; y, las interacciones entre sus elementos con importación de energía, masa o información del entorno, explican el equilibrio en situaciones muy complejas.

La mirada por sistemas dinámicos posibilita no solamente la comprensión de los equilibrios dinámicos. Por ejemplo de las poblaciones de conejos y coyotes en una pradera, o de los precios en una economía de oferta y demanda. Posibilita, además, la matematización de tales interacciones⁵.

En las interacciones entre los organismos y su entorno, los encuentros se están dando permanentemente de tal suerte que nos encontramos con bucles que se repiten permanentemente. Ello nos lleva a tipificar tales procesos como recurrentes y a encontrar que precisamente la recurrencia es una de las operaciones claves para solucionar problemas de variación del tiempo⁶. Si sabemos cómo varían los parámetros en función del tiempo podemos plantear su estudio recurrentemente en intervalos de tiempo tan breves como se quiera y estudiar cómo varía cada una de las variables.

Una vez definida tal variación puede estudiarse el comportamiento con el tiempo para tiempos finitos con variaciones infinitesimales. Esta operación realizada miles de veces mediante un programa de cálculo como el *Excel*⁷, permite simular el fenómeno.

Estudio de la simulación de los fenómenos utilizando la recurrencia

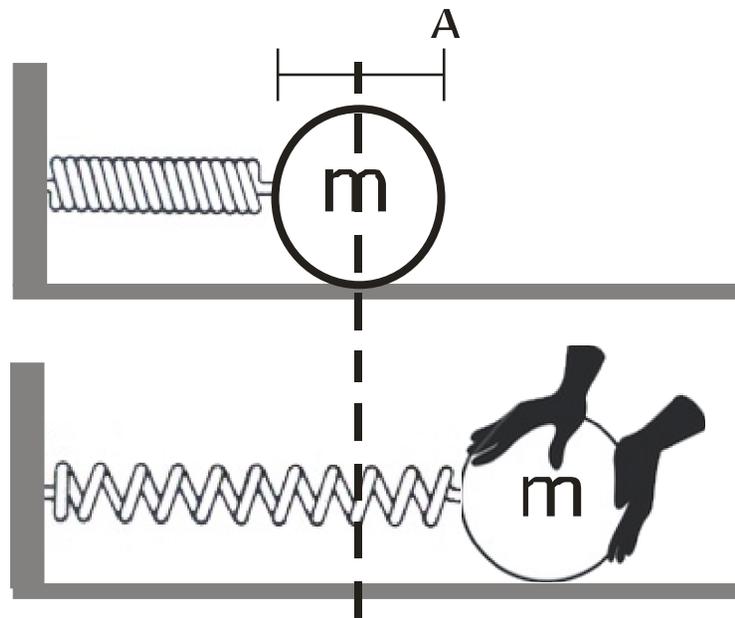
Veamos un ejemplo de esta operación. Consideremos un resorte colocado horizontalmente, que puede oscilar en torno a un punto de equilibrio (O). Para un observador, lo que sucede es que al sacar al resorte de su posición de equilibrio, llevando la masa oscilante a un punto (A) y soltarlo es que el sistema masa-resorte oscila en torno al punto de equilibrio, que debido al rozamiento entre el cuerpo y la mesa y a otros factores disipativos, llega muy poco tiempo después al reposo.

5 Ver la propuesta Stella del MIT y J. Forrester.

6 G. Bateson: *Espíritu y Naturaleza*.

7 Hoja de cálculo de la plataforma M. S.Windows.

1. Notemos que al llevar el cuerpo a un punto A, aparece una fuerza de restitución f , que se opone a la causa que la produce; esto es, al desplazamiento del cuerpo (masa oscilante). La magnitud de la fuerza de restitución es $f = -k \cdot x$, en donde el signo menos indica que f se opone al desplazamiento. En este caso $x = A$.
2. Esta fuerza se manifiesta en el movimiento del cuerpo puesto que se traduce en una aceleración que apunta en la dirección de la fuerza, esto es que se opone al desplazamiento cuya magnitud es $a = f/m$, en donde m es la masa oscilante.
3. La existencia de esta aceleración conduce a la variación de la velocidad de la masa, variación que dependerá de dos factores: al tiempo que transcurra bajo los efectos de la aceleración y al valor de la aceleración misma, que varía permanentemente. Tendremos que, en general $v = v_0 + a \cdot \Delta t$.



4. Tendremos entonces que con esta aceleración y esta velocidad la masa oscilante un tiempo Δt después, se encontrará en un lugar distinto, su desplazamiento será: $x = x_0 + v \cdot \Delta t + (1/2) \cdot a \cdot \Delta t \cdot \Delta t$.

5. Posteriormente, en un segundo cálculo, podemos incluir en el razonamiento la fuerza f_f de fricción, que se opone al movimiento. En tales circunstancias la aceleración deberá considerar tanto la fuerza de restitución como la fuerza de rozamiento.

6. La variación permanente de la aceleración es una consecuencia de la variación de la posición de la masa oscilante, que se traduce en la variación de la fuerza, que depende del desplazamiento.

En este caso, notemos que existe una secuencia de implicaciones, que forman un bucle: El desplazamiento origina una fuerza que origina una aceleración que modifica la velocidad, que modifica el desplazamiento, etc.

Todo esto se puede concretar en un programa para Excel que tendrá prácticamente 2 líneas, la

primera con los valores iniciales, que señalaremos luego y la segunda que se repetirá tantas veces como queramos realizar la recurrencia y que es la siguiente:

La columna B es para el tiempo $\Delta t = 0,01$.

La columna C es para el desplazamiento: $X = C3 + F3 * B4 + (1/2) * E3 * B4 * B4$.

La columna D es para la fuerza, $f = -20 * C4$.

La columna E es para la aceleración, $a = D4 / 2$.

La columna F es para la velocidad, $v = v_0 + a \Delta t$.

Las 15 primeras líneas de la recurrencia en el programa de Excel son:

B	C	D	E	F
Δt	x	f	a	v
0	10	-200	-100	0
0,01	9,995	-199,9	-99,95	-0,9995
0,01	9,9800075	-49,9000375	-2,495001875	-1,024450019
0,01	9,96963825	-49,84819125	-2,492409562	-1,049374114
0,01	9,959019888	-49,79509944	-2,489754972	-1,074271664
0,01	9,948152684	-49,74076342	-2,487038171	-1,099142046
0,01	9,937036911	-49,68518456	-2,484259228	-1,123984638
0,01	9,925672852	-49,62836426	-2,481418213	-1,14879882
0,01	9,914060793	-49,57030396	-2,478515198	-1,173583972
0,01	9,902201027	-49,51100514	-2,475550257	-1,198339475
0,01	9,890093855	-49,45046928	-2,472523464	-1,223064709
0,01	9,877739582	-49,38869791	-2,469434895	-1,247759058
0,01	9,86513852	-49,3256926	-2,46628463	-1,272421905

La recurrencia se tomará cada centésima de segundo ($\Delta t = 0,01$), lo que significa que la tabla anterior corresponde a las primeras 12 centésimas del movimiento.

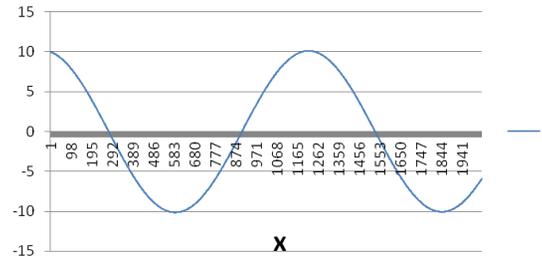
En la tercera fila tenemos los valores iniciales:

Tiempo transcurrido: *0 segundos*.

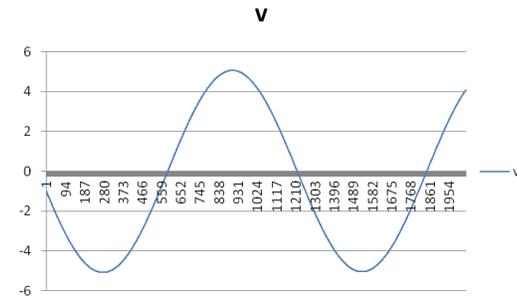
Desplazamiento del equilibrio, $x = 10$ unidades.
 Valor de la fuerza de restitución, $f_f = -k \cdot x = -200$ ($k = 20$ unidades).
 Valor de la aceleración, $a = f_f/m = -100$ (0,5 unidades).
 Valor de la velocidad, $v = 0$ (parte del reposo).

Con estos valores se calculan los correspondientes al tiempo $t = \Delta t = 0,01$ segundos.
 Si adelantamos 2038 recurrencias con $\Delta t = 0,01$ obtenemos las gráficas siguientes:

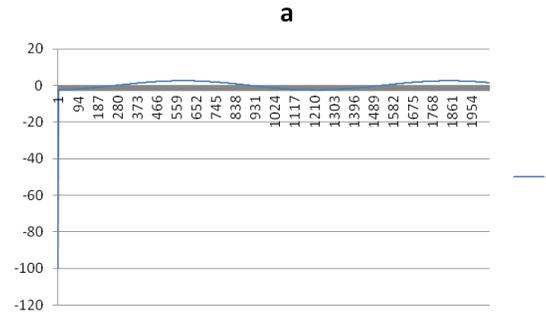
Para el desplazamiento:



Para la velocidad:



Y, para la aceleración:



Realmente es sorprendente el resultado. Si recordamos que las ecuaciones que se utilizaron fueron las simples fórmulas de la cinemática y que estas se aplicaron al estudio del resorte os-

cilante de una manera reiterativa cada 0,01 segundos, lo que encontramos no es solo que así se puede resolver la ecuación diferencial de segundo grado (las descripciones trigonométricas), sino que es posible hacer modelos y simulaciones del fenómeno.

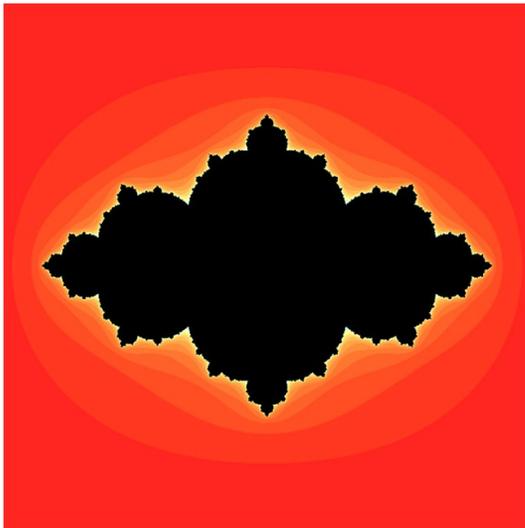
El lector podrá ahora introducir una fuerza disipadora para obtener las gráficas del movimiento oscilante amortiguado.

Este ejemplo ilustra varias cosas características de los sistemas dinámicos.

Por una parte, muestra lo que es la recurrencia, que no aproxima a una solución de la ecuación, sino a una fenomenología.

La recurrencia resulta ser la forma de interacción más característica de los seres vivos. Un ser vivo no está en interacción una vez y ya, sino que se mantiene interactuando sobre la interacción permanentemente en tiempos tan cortos como se quiera.

Al lograrse la simulación del fenómeno nos podemos aproximar al comportamiento sin necesidad de solucionar las ecuaciones diferenciales que lo describen matemáticamente y, luego, mediante estudios de lo que sucede en los límites podemos encontrar las soluciones de las situaciones o el comportamiento del fenómeno en regiones muy bien definidas: valores propios (o atractores) y los comportamientos representados como fractales.



Se encuentran también situaciones de equilibrio resultantes de los bucles de retroalimentación en operaciones de recurrencia.

Sobre fractales un inicio prometedor es la página <http://es.wikipedia.org/wiki/Fractal>.

Éste es un archivo de Wikimedia Commons, un depósito de contenido libre hospedado por la Fundación Wikimedia.

Description: Example of a julia set from coordinate $(1 - \phi, 0)$, a fractal