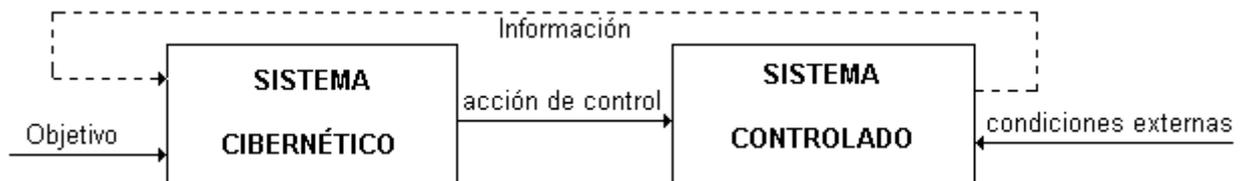


## 4. APRENDER A REALIZAR SIMULACIONES CONSTRUYENDO MODELOS CIBERNÉTICOS:

### Objetivos:

1. Aprender a identificar y distinguir el objetivo, las condiciones externas, la acción de control y la información en un Sistema Cibernético.
2. Desarrollar procedimientos para escoger la acción adecuada para la consecución de un objetivo.
3. Construir modelos sencillos de adaptación para la consecución de un objetivo.

**Actividad 32.** Norbert Wiener (1948) definió la Cibernética como la ciencia de la comunicación y el control en el hombre, el animal y la máquina. Aquí "comunicación" hace referencia al intercambio de información entre un Sistema y su entorno, y "control" hace referencia a la realización de las acciones necesarias para obtener los resultados deseados: llamaremos *Sistema Cibernético* (y también "Sistema con objetivo" o "Sistema controlador") a un Sistema capaz de modificar sus respuestas a partir de la información recibida a fin de alcanzar un objetivo:



El "lazo de retorno", "feed-back" o retroalimentación de la información, tanto sobre el grado de consecución o la distancia al objetivo como sobre las condiciones externas en que ello se produce, es esencial para que un Sistema Cibernético pueda conseguir su objetivo. Señalemos que los Sistemas Cibernéticos pueden acoplarse, de modo que el Objetivo de un Sistema Cibernético puede estar determinado por la acción de control de otro Sistema Cibernético.

**Ejercicio 30:** poner ejemplos de Sistemas Cibernéticos, identificando el objetivo, la información y la acción de control.

**Ejercicio 31:** dividir la clase en dos grupos; el primero, que actuará como Sistema Cibernético, definirá su objetivo; el segundo, que actuará como Sistema Controlado, definirá públicamente un conjunto de acciones a realizar o evitar para su consecución, y establecerá secretamente una relación de comportamiento entre dichas acciones, determinadas condiciones externas y el objetivo. A partir de ello, el segundo grupo anunciará las condiciones externas, el primer grupo anunciará sus acciones, y el segundo informará del consiguiente grado de consecución del objetivo. El proceso se repetirá hasta que el primer grupo consiga una suficiente estabilidad de su objetivo.

**Actividad 33.** En un Sistema Cibernético con *control determinista simple*, con una variable objetivo  $g$ , unas condiciones externas  $x$  y una variable de control  $u$ , tendremos una relación funcional  $g=f(x,u)$ . En tal caso, se tratará de escoger, para cada valor de  $x$ , una acción  $u$  que permita, si es posible, la consecución del objetivo. Para ello habrá que definir qué valores de  $g$  son aceptables o una gradación de su aceptabilidad. Si el valor de  $g$  expresa simplemente un grado de consecución del objetivo, habrá simplemente que escoger, para cada valor de  $x$ , aquella acción  $u$  que conduzca al máximo valor posible de  $g$ . Si sólo algún o algunos valores de  $g$  son aceptables, para determinados valores de  $x$  puede que no exista ninguna acción  $u$  que permita la consecución del objetivo. En general, cuando mayor sea la variabilidad de las condiciones externas hará falta un número mayor de posibles acciones de control para poder controlar la consecución del objetivo, cosa que [Ashby \(1958\)](#) expresó en lo que llamó la Ley de la Variedad Requerida.

**Ejercicio 32:** supongamos que tenemos un sistema controlado con una variable objetivo  $g$ , unas condiciones externas  $x$  y unas acciones de control  $u$ , cuyo comportamiento se expresa por la siguiente tabla de doble entrada:

		u		
		A	B	C
x	a	1	3	5
	b	2	4	6
	c	3	5	1
	d	4	6	2
	e	5	1	3
	f	6	2	4

Los miembros de la clase, individualmente o agrupados, deberán definir su objetivo en relación al valor de la variable  $g$ , y de acuerdo con ello establecer el comportamiento de su Sistema Cibernético,  $u=u(x)$ . El profesor irá dando valores de las condiciones externas  $x$ , y cada cuál dirá su correspondiente acción de control. A partir de ello, se intentará averiguar cuál era el objetivo de cada cuál.  
 ¿Qué relación podría establecerse entre el número de posibles condiciones externas, el número de posibles acciones de control y la capacidad de restringir los valores de la variable objetivo?  
 (obsérvese que, en el caso estudiado, para cada acción de control a distintas condiciones externas les corresponden distintos valores de la variable objetivo).

**Actividad 34.** En el caso de un Sistema Cibernético Dinámico *Adaptativo*, éste modificaría el valor de una variable de estado tendiendo a aproximarle a un valor "ideal" (objetivo). Así, diremos que una variable  $y$  *tiende linealmente* a una variable objetivo  $y^l$  cuando se cumple  $y(t+1) = y(t) + (y^l(t)-y(t))/T_y$ , donde  $T_y$  es el tiempo de retardo de la adaptación de dicha variable. Naturalmente, si el tiempo de retardo fuera la unidad se cumpliría  $y(t+1)=y^l(t)$ . En general, el Sistema debería recibir información sobre la diferencia entre el valor actual de la variable y su valor "ideal",  $z=y^l-y$ , siendo la acción de control  $\Delta y=z/T_y$ .

**Ejercicio 33:** dividir la clase en dos grupos, cada uno de los cuáles tendrá un Sistema Cibernético Dinámico Adaptativo con una variable ( $x$  e  $y$ , respectivamente) que tenderá linealmente a una variable objetivo, y podrá escoger y variar libremente su tiempo de retardo. Suponiendo que  $x^l=3-y$ ,  $y^l=x+1$ , partir de  $x=0$ ,  $y=0$  e iterar sucesivamente hasta que las diferencias entre ambas variables y sus respectivos valores "ideales" sean menores que una cantidad previamente acordada.

**Actividad 35.** Diremos que una variable dinámica aleatoria  $y$  con valores  $\{y_1, y_2, \dots, y_M\}$  es *reforzada linealmente* por una variable objetivo  $g$  con valores en el intervalo  $[0,1]$  si y sólo si existe una variable dinámica aleatoria  $f$  (a la que llamamos *acumuladora de memoria*) tal que

$$P(y_k) = f_k/B \text{ con } B = \sum_{j=1}^M f_j \text{ (memoria acumulada)} \quad \&$$

si  $y(t) = y_k$ , entonces  $f_k(t+1) = f_k(t) + (2g(t)-1)$  [o 0 si fuera negativo] & en caso contrario  $f_k(t+1) = f_k(t)$   
para todo  $k=1,2,\dots,M$

Es fácil comprobar que si  $g(t)=1$  (objetivo plenamente satisfecho) con un determinado valor de  $y$ , entonces el correspondiente valor de la variable  $f$  acumuladora de memoria se incrementa en 1, y su probabilidad aumenta (sufre *refuerzo positivo*), mientras que si  $g(t)=0$  (objetivo totalmente insatisfecho) con un determinado valor de  $y$ , entonces el correspondiente valor de la variable  $f$  acumuladora de memoria se decreta en 1, y su probabilidad disminuye (sufre *refuerzo negativo*).

**Ejercicio 34:** estudiar la evolución de una variable dinámica aleatoria  $y$  con valores  $\{a,b,c\}$  reforzada linealmente por una variable objetivo  $g$  cuyo valor depende de  $y$  según la tabla adjunta. A tal efecto, supondremos que inicialmente  $f_a=f_b=f_c=2$ , despreciando la variación de las probabilidades durante cada  $B$  pasos, de modo que tomaremos sucesivamente  $f_k(t+B) = f_k(t) + (2g_k-1) \cdot f_k(t)$ .

$y$	$g$
$a$	1
$b$	0'5
$c$	0

Representar gráficamente la evolución en el tiempo.

Puede escenificarse el proceso asignando en cada paso los valores de  $y$  a miembros de la clase proporcionalmente a su probabilidad: inicialmente pueden asignarse según el valor de  $f$  hasta que se agoten los miembros, y a partir de ahí incrementar  $t$  en tantas unidades como miembros, asignándoles valores en el número entero más próximo a su proporción, de modo que cada miembro sume al valor de  $f$  de su valor la correspondiente cantidad  $2g-1$ .