

Capítulo 1

Introducción a la Automática

La Automática es la disciplina de la Ingeniería que desarrolla **sistemas automáticos**, es decir, que operan sin intervención humana. Por ejemplo, un robot industrial funciona por sí mismo de acuerdo con unas reglas programadas. Que sea autónomo no significa necesariamente que sea inteligente. Simplemente es un autómata. Solemos reservar el adjetivo inteligente al sistema que aprende por sí mismo sus propias leyes de comportamiento (el aprendizaje automático o *machine learning*) como suelen hacer los vehículos autónomos, que sí pueden llamarse vehículos inteligentes. En esta asignatura sólo nos centraremos en el diseño de las leyes de control automático convencional.

En la actualidad muchas empresas se plantean *automatizar* sistemas. Automatizar quiere decir cambiar el control *manual* de un sistema físico por un control *automático*. Un ejemplo es el control de la velocidad de un vehículo. La velocidad la puede controlar personalmente el conductor accionando el acelerador (o el freno). Pero activando el *cruise control* el conductor puede dejar de accionar los pedales. ¿Qué tiene el vehículo para que pueda autogobernarse? Para poder responder a esta pregunta primero hay que entender cuál es el comportamiento natural de los **sistemas** y qué **señales** o magnitudes físicas intervienen.

1.1. Definición de señales y sistemas

En esta disciplina se emplea mucho la palabra *sistema*, que se puede definir como la combinación de elementos que actúan conjuntamente para cumplir un determinado objetivo. Es un concepto tan general que en la práctica se puede aplicar a casi cualquier realidad física. Muchas veces decimos que los sistemas son dinámicos, es decir, que evolucionan a lo largo del tiempo.

Pero antes de preguntarnos cuál es el comportamiento o la dinámica propia de un sistema es muy importante identificar cuál es la **salida**, es decir, la variable o magnitud física que deseo observar (y luego controlar) y cuál es la **entrada**, es decir, la magnitud física con la que puedo “empujar” al sistema para cambiar la salida. Siguiendo el principio de causalidad, la entrada es la *causa* del movimiento del sistema, cuyo principal *efecto* es el cambio en la señal de salida.

Pensemos por ejemplo en el control de la velocidad de un vehículo. El sistema es el propio vehículo, la salida es la velocidad y la entrada es el ángulo del pedal acelerador (Fig. 1.1). El ejemplo tiene una limitación porque el pedal acelerador sólo actúa con *signo más* y, por tanto, sirve para “empujar” pero no para “frenar”. Necesitamos otro pedal (el freno) para introducir el *signo menos* de la actuación. Esto también ocurre en otros ámbitos. Por ejemplo para controlar la temperatura de una habitación el signo más del calor entrante lo suministran los radiadores, mientras que el signo menos (el frío entrante) lo generan los

equipos de aire acondicionado. Conceptualmente se puede tratar como una misma señal de entrada dotada de signo más y signo menos.



Figura 1.1: Vehículo

En general cualquier sistema físico lo representaremos como una “caja” (Fig. 1.2) que relaciona dos señales: la entrada y la salida. Los sistemas con una entrada y una salida se llaman sistemas **SISO** (*single input single output*) y los sistemas **MIMO** (*multiple input multiple output*) tienen varias entradas y varias salidas.



Figura 1.2: Representación general de un sistema

La representación cualitativa de las señales y el sistema (las flechas y la caja) se traducen al lenguaje matemático usando funciones temporales y ecuaciones. En la Fig. 1.3, la salida es la función $y(t)$, mientras que la entrada es $x(t)$. Lo que esconde la caja es la **dinámica** del sistema, es decir, la ecuación matemática que relaciona la entrada y la salida (habitualmente una ecuación diferencial lineal).

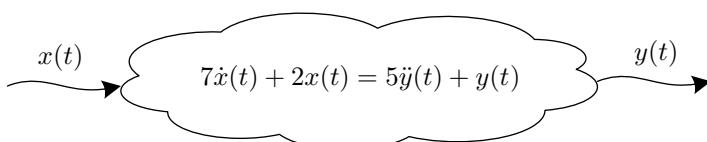


Figura 1.3: Representación matemática de la dinámica de un sistema

En un vehículo –además de la velocidad– pueden controlarse otras señales. Por ejemplo la temperatura del interior de la cabina. Y para controlar esa variable se debe usar otra causa: el flujo de calor del climatizador. El vehículo es el mismo pero en cada problema de control interesa un aspecto distinto de él. En otras palabras, una dinámica no describe toda la realidad del sistema físico. Sólo es una ecuación que relaciona dos señales concretadas identificadas como causa y efecto. A partir de ahora llamaremos **planta** a la dinámica del sistema físico que se desea controlar.

La dinámica del sistema es un punto de partida y, por tanto, se da en el enunciado del problema. Obtener esa ecuación es el objeto de otras disciplinas. Así, el comportamiento de un sistema mecánico se puede hallar aplicando la segunda ley de Newton. Y el comportamiento de un circuito eléctrico se puede obtener aplicando las leyes de Kirchhoff.

1.2. Elementos de un sistema controlado

Volviendo al ejemplo del vehículo, todavía no se ha descrito cuál es la estrategia de control que emplea el piloto cuando fija la velocidad. En la Fig. 1.4 se muestra el **lazo de control** que se produce durante el control manual del vehículo. El piloto es el agente que acciona el acelerador. El ángulo del pedal acelerador es la causa entrante en la planta. El vehículo responde con un cambio en su velocidad, que es el efecto o salida de la planta. El piloto observa (por medio del velocímetro) la velocidad del vehículo y la compara mentalmente con la velocidad que desea alcanzar. Supongamos que el piloto desea circular a 120 km/h. Esta velocidad es la **referencia** del sistema controlado y, aunque habitualmente es una constante, no deja de ser una nueva señal que interviene en el sistema controlado.

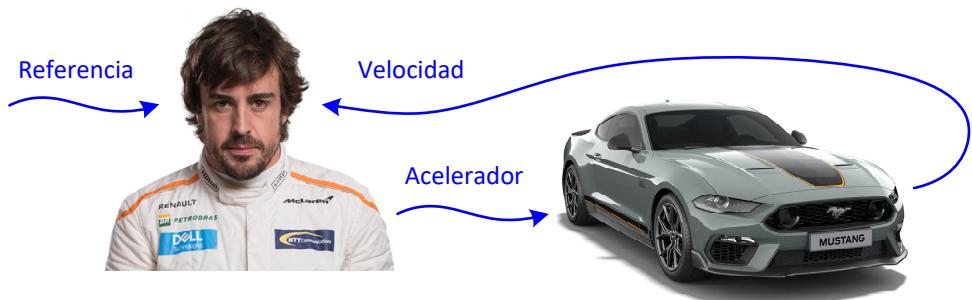


Figura 1.4: Control manual del vehículo

El piloto es un subsistema con dos entradas y una salida. Evidentemente no sabemos la dinámica interna del conductor, es decir, cómo elige el ángulo del acelerador en función de lo que observa y piensa. Sin embargo, su comportamiento sigue algún tipo de patrón. Si la velocidad actual del vehículo es muy inferior a la deseada, probablemente pisará más el acelerador. Pero si la velocidad supera a la deseada, probablemente intente frenar el vehículo accionando el freno (que es el pedal que produce el signo contrario). El piloto no puede actuar “a ciegas”. Para gobernar un sistema se necesita medir la salida de la planta. Tampoco se puede controlar “sin propósito”. Es necesario una señal de referencia. Cuando se cambia el control manual por el control automático, el sistema controlado posee los mismos elementos (Fig. 1.5), sólo que la persona se reemplaza por un agente artificial llamado **controlador**.

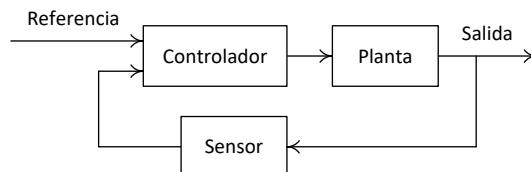


Figura 1.5: Control automático del vehículo

Se puede afirmar que controlar sistemas se reduce a construir lazos de control, es decir, bucles que el agente controlador “cierra” observando y actuando en la planta. La realimentación (*feedback*) de la señal medida por el sensor es tan importante que a los sistemas controlados se llaman habitualmente *sistemas en lazo cerrado*. Por tanto, ¿qué se necesita para controlar un sistema?

- La posibilidad de actuar en la planta.
- La posibilidad de observar (o de medir con un sensor) la señal que se desea controlar.

- c) Una señal de referencia que se establece como objetivo de la salida de la planta.
- d) Un agente, humano o artificial, que observe y actúe (es decir, que cierre el lazo).

El **sistema controlado** es también –como su propio nombre indica– un sistema, pero es una realidad más amplia que la propia planta porque engloba todos los subsistemas del conjunto (el controlador, la planta y el sensor) y su entrada es la señal de referencia (Fig. 1.6).

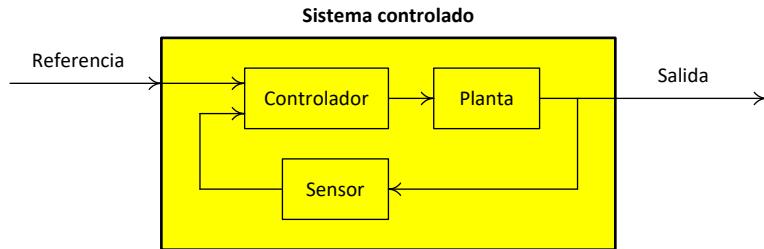


Figura 1.6: Sistema resultante

La dinámica del sistema controlado no coincide con la dinámica de la planta. El ingeniero no puede cambiar habitualmente la dinámica natural de un sistema (la planta), pero sí puede elegir la dinámica del sistema controlado. En este sentido, se dice que un sistema automatizado puede “mejorar” la dinámica natural de una realidad física.

La descripción del sistema controlado se completará en los siguientes capítulos con otros elementos importantes que lo componen, pero que no son necesarios ahora para entender el objetivo general de la asignatura.