

TERMINOLOGÍA

En esta ocasión la sección de terminología ha sido encomendada a un ingeniero de telecomunicaciones que trabaja en control. La transmisión de información es consustancial a la función de control en el seno de la máquina o del proceso controlado. La realimentación es realimentación de información. Por ello comunicaciones y control están conceptualmente muy próximos. No en vano Wiener subtítulo su obra capital, “del control y la comunicación en el animal y en la máquina”. Sin embargo, como ramas de la ingeniería moderna, las telecomunicaciones y el control han discurrido por sendas que aunque muestren cierto paralelismo no son lo coincidentes que cabría esperar de sus afinidades conceptuales. Las reflexiones que siguen ilustran algunas repercusiones terminológicas de lo que se acaba de exponer.

De nuevo aprovecho estas líneas para invitar a participar en esta sección. El carácter transversal de nuestra especialidad hace que se emplee en muchos campos con diferentes usos terminológicos, lo que produce una inevitable dispersión lingüística que requiere especial consideración.

Javier Aracil
Escuela Superior de Ingenieros
Universidad de Sevilla
aracil@esi.us.es

Control y Telecomunicaciones

Control y Telecomunicaciones son disciplinas que comparten gran parte de sus fundamentos teóricos. Así lo reflejan los planes de estudio de 1991 de Ingeniería de Telecomunicación en España al incorporar una especialidad denominada Control de Procesos, que tras la reforma de 1998 se conoce como Telecontrol y Robótica. Sin embargo esta incursión de la Ingeniería de Telecomunicación en el área más clásica del Control y la Automatización no es entendida con la misma claridad en los países anglosajones, donde probablemente las competencias de los ingenieros están más nítidamente delimitadas. No carece de lógica: una cosa es compartir conceptos y herramientas y otra bien distinta que los problemas prácticos que afrontan en su profesión los especialistas de control y los de telecomunicaciones tengan algo en común. Desde el punto de vista académico la coincidencia es notoria, pero si aceptamos que la Ingeniería es saber práctico, no conviene considerarlas ramas similares.

Es por tanto en los fundamentos teóricos donde encontramos el espacio cohabitado por unos y otros profesionales. Y nos preguntamos, ¿se habla una lengua común en este lugar? Hay notables conceptos y términos inmediatamente trasladables de uno a otro dominio. Son los asociados a tecnologías de reciente expansión y en consecuencia con alto grado de universalidad en su terminología: los relativos a la electrónica, computación y algorítmica. No debe sorprender que, junto a éstos, también han decantado una terminología inequívoca disciplinas más antiguas: electromagnetismo, teoría de ondas, estabilidad, análisis frecuencial, mecánica, álgebra, ecuaciones diferenciales y estadística.

Sin embargo, entre ambas categorías se observa un número creciente de modismos del lenguaje profesional, que otorgan a sus valedores un halo de docta inaccesibilidad, pero poco aportan a la comprensión y universalidad de conceptos. En este sentido, los amantes de la jerga técnica libran y vencen diariamente batallas contra la función natural del lenguaje. Como ejemplo perdedor en el mundo de las telecomunicaciones cabe designar el decibelio. ¿En qué otro campo de la ciencia o la técnica se emplea la misma unidad para medir cantidades, flujos y potencias? El decibelio es palabra común a conceptos tan dispares como niveles de tensión máxima en amplificadores, (dBuV o db-microvoltios), niveles de potencia de señal radiada (dBm o dB microvatios), y razones de amplitudes o potencias: (simplemente dB). En todos los casos el profesional dirá “decibelios”, prestando mayor atención a la escala logarítmica de representación que a la naturaleza de la medida. Como resultado, en muchos casos, ésta se desconoce.

Intuyo que en el campo de la Automática la confusión no llega a tales extremos ya que los decibelios se manejan marginalmente como parámetros de señal (asociado a las propiedades de ruido y atenuación en la instrumentación, conceptos propios de las telecomunicaciones) y principalmente como propiedades de ganancia entrada-salida de sistemas. En este último caso, al tratarse de razones de amplitudes, no hablamos de magnitud física neta y poco se puede hacer por enturbiar su significado.

Javier Aracil analizó en esta sección el término realimentación en el contexto de la Automática y ahora corresponde reseñar las variaciones que se observan en su uso cuando el dominio de trabajo es el de las telecomunicaciones. De nuevo es el saber práctico el que ha configurado su significado al uso. En Automática la realimentación es fundamentalmente una herramienta, una estrategia de interconexión de sistemas con un fin determinado. En telecomunicaciones el término es más amplio y se entiende como un fenómeno o propiedad de los sistemas. A menudo es empleado en beneficio del comportamiento de los equipos pero no siempre es beneficioso ni mucho menos necesario. La razón no es que la tecnología de comunicaciones prescindiera del útil recurso. Un clásico ejemplo de su importancia es la aportación de Black, que lograba en 1934 vencer los problemas de distorsión por no linealidad en transmisiones de larga distancia. La gran atenuación de la señal requería la incorporación de numerosos amplificadores en cascada, que producía una distorsión acumulada que sólo pudo salvarse tras la invención del amplificador realimentado. Los problemas de estabilidad en dicho amplificador fueron resueltos por Black. Esta aplicación y el trabajo de Nyquist de 1932 en que se basa iniciaron la andadura de la teoría del control moderna. Otro ejemplo de sistema de control prácticamente generalizado en los receptores modernos de señales moduladas en frecuencia o fase es el PLL (lazo cerrado de fase).

La mayor relajación o extensión del término realimentación en telecomunicaciones se debe, por tanto, a la aparición de efectos indeseables de realimentación positiva en sistemas de radio y telefonía. En los sistemas telefónicos de largo recorrido es habitual emplear cancelaciones de eco cada cierta distancia no sólo para mejorar la percepción del interlocutor, sino para evitar que el sonido entre en un ciclo de ida y vuelta de auricular a micrófono, en transmisión y recepción, que según el desfase haga saturar los amplificadores de la cascada de transmisión. El efecto es conocido comúnmente ya que toda persona ha presenciado, a su pesar, el silbido de la realimentación (y su inestabilidad asociada) entre un micrófono o instrumento musical electrónico y un altavoz próximo.

Por otro lado, a un nivel más conceptual que terminológico, conviene distinguir el papel jugado por el término estabilidad en ambas disciplinas. En control y automatización es un objetivo, generalmente el primero en la mente del diseñador. Después vendrán otros factores como márgenes de fase y ganancia, que vendrán a ratificar dicha estabilidad en circunstancias más realistas; detrás de estos conceptos, cobran importancia parámetros como transitorios o dominios de atracción. ¿Sucede así en telecomunicaciones? En primera aproximación cabe pensar que no. Una disciplina troncal en telecomunicaciones es el diseño de filtros, digitales o analógicos, con determinadas características frecuenciales. Los diseños deben contar de forma imprescindible con la propiedad de estabilidad BIBO (entrada acotada, salida acotada), pues en caso contrario las señales filtradas podrían ser de amplitud ilimitada. Sin este requisito se podría pensar que un integrador es un buen filtro de paso de bajas frecuencias. Pero la estabilidad es sólo una de las características de estos filtros, como puede ser la causalidad. No es su función primordial. El filtro de comunicaciones no está diseñado en función de su salida, como sucede en la teoría del control. Muchos controladores pueden entenderse como filtros orientados a que la salida se estabilice e independice de las entradas y perturbaciones. Por el contrario, los filtros de comunicaciones están enfocados hacia la relación entrada-salida en el dominio frecuencial y en este aspecto la estabilidad es un hecho, en apariencia, secundario.

Se ha postergado el término frecuencia intencionadamente, pues es posiblemente donde más claro se hace la convergencia en el plano teórico y divergencia en el quehacer práctico. Si el Ingeniero de Control tiene el diagrama de Bode como su principal herramienta gráfica de análisis y diseño, el de telecomunicaciones basará sus estudios la transformada de Fourier. ¿La diferencia? Básicamente una razón de escalado y la *causalidad* (valor cero antes del origen de tiempos) de las señales en el primero de los casos. Este último aspecto no es al azar, pues los sistemas de comunicaciones no se basan en un origen de tiempo para sus ajustes y ensayos, mientras que los controladores se ajustan en gran medida para responder adecuadamente a señales de prueba (escalón, impulso) aplicadas a partir de un instante inicial determinado. Pero más allá de esta consideración, es claro que el Ingeniero de Control intuye en el diagrama frecuencial de Bode propiedades sistémicas. Una adecuada atención a las asíntotas de la magnitud y evolución de la fase permite concluir en gran medida las propiedades del sistema en análisis. La principal razón es que el diagrama de Bode es un análisis de un sistema, generalmente de naturaleza racional (cociente de polinomios). Esto no tiene un claro reflejo en comunicaciones pues el análisis de un espectro de Fourier no se realizará sobre los sistemas, sino por las señales, las cuales, por supuesto no están restringidas a un generador de ondas de forma polinomial. En este último caso el comportamiento de fase cobra relevancia secundaria, básicamente se persigue su linealidad con la frecuencia en el diseño de filtros.

De vuelta a la cuestión terminológica, el vocablo *cibernética* incide en el encuentro entre telecomunicaciones y control. Aunque popular y erróneamente ligado a la robótica y la imitación artificial del ser humano, en el diccionario de la Universidad de Cambridge aparece como el estudio científico de la transmisión de información en las máquinas en comparación a cómo se hace en el sistema nervioso. Esta definición otorga un significado exclusivamente relativo a la comunicación, lo que sorprende dada la raíz griega común con la palabra gobierno. Más fácil de comprender es la definición de la ubicua Wikipedia, que lo glosa como el estudio de la comunicación y el control, implicando típicamente la regulación por realimentación. Recordemos que el término fue acuñado por Norbert Wiener y popularizado a través de su libro *Cybernetics, or Control and Communication in the Animal and Machine* (1948).

En los foros y congresos de Automática de los últimos años se ha observado un creciente interés en integrar comunicaciones y control en una disciplina más amplia y entrelazada, conocida por las siglas CCCT (del inglés, Tecnologías de Computación, Control y Comunicaciones). En esta línea se ha empezado a entender el control como un proceso con flujos de información entre sistemas interconectados, y si bien no resulta evidente la conveniencia de este enfoque en sistemas monovariantes o de parámetros concentrados, cobra especial interés en el control de sistemas distribuidos.

Resulta calificador (o quizá lo contrario) reseñar los conceptos que emplean los promotores del término CCCT en las convocatorias de sus congresos. Sugieren la división de esta disciplina en siete apartados. Control, comunicaciones y tecnologías de la información son los evidentes. A continuación, se conforma un epígrafe único bajo el complejo título de Sistemas híbridos, Tecnologías duales, Investigación de productividad cruzada (cross-fertilizing research) y Pensamiento analógico. Se puede considerar que este campo aglutina los estudios de investigación que combinan cualquiera de las tres áreas. Finalmente aparecen los apartados denominados Aplicaciones híbridas, Aplicaciones de CCCT en otras áreas y Aplicación de otras áreas en CCCT. En este último tienen cabida, entre otros, trabajos relacionados con la electrónica molecular, computación cuántica y tratamiento óptico de la información.

Tanto si damos crédito a esta clasificación de una realidad inasible y mutante, opino que la convergencia de las tecnologías de las comunicaciones, el control y la computación es patente y creciente. Además, si los teóricos de la Automática prestan atención a la proliferación de dispositivos de medida, sensores, actuadores y demás elementos de control con conectividad inalámbrica o por red de datos, comprenderán que el algoritmo de control debe considerar el concepto tráfico de datos, transmisión, cantidad de información y errores, con tanta seriedad como ha sido considerado hasta ahora la estabilidad. Si esta convergencia se traduce en futuros ingenieros que asuman las interacciones entre ambos mundos, se habrá invertido la peligrosa tendencia a una excesiva especialización. ¿Adoptarían los nuevos profesionales una terminología doble?

Fabio Gómez-Estern Aguilar
Escuela Superior de Ingenieros
Universidad de Sevilla
fabio@esi.us.es