

"FÍSICA, TEORÍA DE LA INFORMACIÓN Y ECONOMÍA: TRES LUGARES COMUNES PARA LA ENTROPÍA".

José Luis Cuenca Tadeo()*
Profesor de la Universidad San Pablo-CEU
Departamento de Técnicas Cuantitativas

1. INTRODUCCIÓN.

La ciencia, desde sus orígenes, se ha considerado a sí misma como algo separado. El desarrollo histórico del conocimiento es un proceso inevitable. A Leibnitz, se le considera por algunos autores, como el último hombre que sabía de todo. La afirmación es sustancialmente cierta. Hasta el siglo dieciocho, las mentes más privilegiadas estaban en condiciones de abarcar toda la ciencia de su tiempo, tener un perfecto conocimiento de varios idiomas, y una vasta cultura.

La acumulación de saber científico desde el siglo dieciocho, hizo necesario dividir y clasificar de manera diferente el conocimiento, que desde aquel momento creció exponencialmente. Resultado de esta división fue, el nacimiento de diferentes disciplinas. Hace poco más de un siglo, la ciencia se separó formalmente de la filosofía, dividiéndose en dos ramas: física y química.

De esa primera división surgieron otras nuevas ramas del conocimiento tales como la biología, la psicología que derivó de la biología y la ciencia social de lo hizo de la psicología. Esta proliferación de disciplinas científicas se produjo a comienzos de este siglo. La división de la ciencia continua y las disciplinas se multiplican.

Los científicos comenzaron a investigar aquellas áreas que menos afectaban las creencias sociales, culturales, religiosas y morales. En los últimos años los avances de la ciencia en otros campos tales como la biología llevan a tener que afrontar importantes problemas de carácter ético y moral al entrar en confrontación con factores determinantes para nuestro futuro como seres humanos. Los científicos y los filósofos han querido afrontar la historia de la ciencia con una lógica mayor que la que la historia proporciona. Han tratado de racionalizar el orden de desarrollo de las disciplinas atendiendo al principio de jerarquía de las ciencias.

Por esto la física se ocupa de los objetos, de los fenómenos y de las propiedades en sus expresiones más simples e irreductibles que son directamente observables. Cada disciplina posterior se ocupa de funciones y de agregaciones más complejas de objetos, fenómenos y propiedades. La conclusión de cualquier disciplina, se derivaba de aquella de la que procedía. La física se considera la ciencia básica y fundamental.

Se acepta que la ciencia física trata la realidad última y no necesita ayudas externas de ninguna otra disciplina. Esta opinión se mantiene aunque no existe ningún concepto, en cualquier disciplina, que sea básico y que no pueda ser mejorado por otras disciplinas.

El hombre identifica los hechos con objetos que puede estudiar desde la vertiente de ciencias distintas. El crecimiento de aplicación de la ciencia hizo conveniente su aplicación atendiendo a distintas profesiones y disciplinas científicas. Las clasificaciones del saber en disciplinas y profesiones pueden ordenarse mediante una matriz de doble entrada en la que se reflejen las distintas disciplinas en las filas de dicha matriz y las profesiones en sus columnas. Esta matriz se irá incrementando con nuevas disciplinas (filas) y profesiones (columnas).

(*) "A la memoria de M^a Carmen Reyes Molero". Este artículo está basado en una comunicación presentada por ella, junto a José Luis Cuenca, en la XI reunión de ASEPELT, celebrada en Bilbao en julio de 1997.

Entre las dos guerras mundiales aparecieron investigaciones multidisciplinares para dar respuesta a las nuevas necesidades del desarrollo científico y técnico. Con este tipo de planteamiento, los problemas complejos se descomponen en problemas unidisciplinarios que se suponen resolubles independientemente. Por este motivo, eran asignados a diferentes disciplinas y profesiones y resueltos separadamente. Las soluciones, a su vez se agregaban voluntaria o espontáneamente.

La investigación interdisciplinar de los problemas, no los descomponen en sus distintas partes, sino que trata el todo, por las distintas disciplinas que trabajan conjuntamente. El fruto del movimiento interdisciplinar fue la aparición de la investigación operativa, las ciencias de la dirección, la política, la planificación, la comunicación y la investigación general de los sistemas.

La complejidad de los problemas, aumenta la necesidad de unificar las disciplinas llegando a lo que se ha denominado metadisciplina. Lo ocurrido en las últimas décadas puede interpretarse como una evolución de tránsito hacia la síntesis del saber humano en el ámbito de la ciencia, la tecnología y las humanidades.

El estudio eficaz de los sistemas sociales necesita la síntesis entre la ciencia y los profesionales que las practican. La investigación operativa, la ciencia de la dirección y las otras disciplinas han obtenido resultados significativos. Sus logros, han sido menos significativos porque el desarrollo ulterior no ha ido parejo a la creciente complejidad de las situaciones a las que los directivos y los administradores se enfrentan.

Las ciencias de la dirección no son suficientemente amplias como para hacer verdaderamente científica la dirección de una empresa. Sería importante, conocer el porcentaje de decisiones tomadas por los directivos basadas en ellas. La investigación operativa no es suficientemente amplia como para estudiar con éxito las características operativas de nuestro sistema social. Esto quiere decir, que ésta interdisciplina no es suficiente, como no lo son, las otras comentadas anteriormente fallan por la aptitud que adoptan quienes necesitan tratar los desórdenes y por los métodos y principios que se aplican.

En este marco científico es conveniente no perder de vista, los métodos, las aplicaciones y los conceptos utilizados en otras ciencias para comprender mejor la utilización que de los mismos se hacen en aquellas disciplinas que nos son más cercanas. El concepto de entropía ha tenido desde su aplicación por las ciencias físicas un interesante devenir hasta su aplicación en las ciencias económicas, vamos en las próximas líneas a tratar de desvelar su camino.

2. LAS LEYES DE LA TERMODINÁMICA.

A partir de mediados del s. XIX, la termodinámica estudia los sistemas físicos desde un punto de vista macroscópico y posteriormente estadístico, basándose en tres principios fundamentales. El primer principio de la termodinámica establece el equivalente mecánico del calor, postulando que una caloría transformada equivale siempre a una cantidad idéntica de trabajo realizado, cuyo valor es de 4,18 julios. *La Primera Ley de la Termodinámica afirma que la energía se conserva, es decir que ningún proceso puede liberar continuamente más energía de la que toma, o tener una eficiencia mayor del 100%.*

El segundo principio, conocido también como principio de Carnot, establece la imposibilidad de llevar a cabo una transformación de calor en trabajo si no se dispone de dos sistemas que se deben de encontrar a distinto nivel de temperatura. Además, el proceso se realiza de forma irreversible, pasando el calor del sistema más caliente al sistema más frío. En esta transferencia el cuerpo más frío eleva su temperatura, el calor nunca podrá transformarse en su totalidad en trabajo: existe una

necesaria degradación de la energía, de la que da cuenta la entropía, definida como la relación entre la variación de calor y la temperatura absoluta del sistema.

La Segunda Ley de la Termodinámica es más restrictiva e implica que todos los procesos deben operar con una eficiencia menor de 100% debido al inevitable aumento de la entropía. Por ejemplo, en las grandes plantas de carbón se derrocha al rededor del 67% de la energía calorífica contenida en el carbón. Otros motores tales como el del automóvil y el cuerpo humano, son menos eficientes, derrochando el 80% de energía disponible.

El tercer principio de la termodinámica, también llamado principio de Nernst, indica que, en las proximidades del cero absoluto, las propiedades de los cuerpos que dependen de la temperatura son independientes de ésta.

3. LA ENTROPÍA EN LAS CIENCIAS FÍSICAS.

La entropía es la magnitud termodinámica que expresa el grado de desorden molecular de los cuerpos aislados y que caracteriza termodinámicamente el estado de un sistema. Cuando se refiere a la diferencia entre la entropía de una mezcla de dos fluidos y la suma de sus entropías cuando se hallan separados, en las mismas condiciones de presión y temperatura, se conoce como entropía de la mezcla.

La variación de entropía entre dos estados viene dada por el cociente entre la cantidad de calor absorbida por el sistema y la temperatura absoluta de la fuente de calor, es decir, por la expresión $dS = dQ/T$, donde dS representa la variación de la entropía mientras que dQ es la cantidad de calor y T es la temperatura absoluta.

La entropía nunca disminuye durante los cambios de estado del sistema. Asimismo, cuanto mayor es el desorden, tanto mayor es la entropía del sistema. Por lo tanto, la entropía de un sólido cristalino es menor que la de dicha sustancia fundida, ya que en dicho estado las moléculas no están situadas en posiciones fijas dentro de la red cristalina, sino que se mueven con un grado mayor de libertad.

En una transformación cíclica reversible, la variación de entropía es nula; de ello se deduce que la entropía es independiente del camino recorrido y sólo depende del estado inicial y el estado final, es decir, es una función termodinámica de estado. La unidad de entropía es el clausius, que se define como la variación de entropía experimentada por un sistema que absorbe 1 julio a la temperatura de un grado Kelvin.

En los sistemas aislados la entropía total aumenta siempre en los procesos irreversibles, lo que hace que la energía disponible vaya disminuyendo. Una vez que el sistema aislado ha alcanzado su máxima entropía, es decir, la materia contenida en el sistema se encuentra en un estado de máximo desorden y la temperatura en el interior de él es completamente uniforme, deja de haber energía libre que permita realizar trabajo alguno, por lo que se dice que se ha alcanzado el estado de muerte entrópica.

Entropía es el término científico que mide el grado de aleatoriedad o desorden en los procesos y sistemas. En las ciencias físicas el concepto de entropía es central en las descripciones de la Termodinámica e iguala el universo como una totalidad. También es útil en la teoría de la comunicación, en campos sociales y en las ciencias de la vida. Fue inicialmente definida por el físico Alemán Rudolf Clausius (1865), basándose parcialmente en el trabajo anterior de Carnot y Kelvin. Clausius encontró que aun en los procesos "perfectos" o completamente reversible, los cambios de energía calorífica entre sistemas resultan inevitables y que se produce una pérdida de energía útil. Él llamó a ésta pérdida aumento de la entropía y la definió como el aumento de la cantidad de calor dividido por la temperatura absoluta a la que el proceso tiene lugar.

Pocos procesos son verdaderamente reversibles, los aumentos reales de entropía son mayores que esta cantidad. Este principio es una de las leyes básicas de la naturaleza, conocido como Segunda Ley de la Termodinámica.

Otra manifestación de la entropía es la tendencia de los sistemas a moverse hacia el desorden y la turbación cada vez mayor, con el paso del tiempo. Los procesos naturales se mueven hacia el equilibrio y la homogeneidad más bien que hacia los estados ordenados. Así por ejemplo, las moléculas de perfume en el aire no se reúnen naturalmente en un frasco de perfume. De manera similar, las reacciones químicas son favorecidas cuando los productos contienen una mayor cantidad de desorden (entropía) por los reactantes. Por ejemplo, en la combustión de un combustible común, tales reacciones no se producen espontáneamente. La tendencia hacia el desorden da una dirección temporal natural a los sucesos.

Una consecuencia continua del aumento de entropía puede ser la degradación de toda la energía útil en el universo. Los físicos teorizan que el universo, podría alcanzar eventualmente un equilibrio de temperatura, en el que el desorden sea máximo y las fuentes útiles de energía existentes, no puedan permitir la vida. Ésta "muerte del universo" sería posible únicamente si el universo se comporta físicamente por las mismas leyes de la termodinámica observadas en la tierra.

4. ORDEN Y DESORDEN EN LA INFORMACIÓN.

El término información se usa, en la teoría matemática de la Comunicación, con un sentido que no debe confundirse con el uso cotidiano del mismo. En particular, información no es sinónimo de significado. El término información no se refiere tanto a lo que se dice, sino a lo que se podría decir. Es decir, *la información es la medida de la libre elección del mensaje*. Cuando un decisor se enfrenta a la situación de tener que elegir entre dos mensajes alternativos, se dice que la información asociada a esta situación es la unidad.

Es un error decir, que uno u otro de los mensajes independientes representa una unidad de información. El concepto de información se refiere, no a los mensajes individuales sino, a la totalidad.

Una fuente de información que produce mensajes por selección sucesiva de símbolos discretos tiene una probabilidad de elegir diversos símbolos en una etapa del proceso que depende de las elecciones anteriores. Cuantitativamente la "información" encuentran su equivalente en el concepto físico de entropía. Esta se expresa en términos de las probabilidades implicadas. La relación que la determina, se expresa en términos del logaritmo de las probabilidades, de modo que se tiene una generalización natural de la medida logarítmica para los casos simples.

La entropía se ha convertido en un concepto tan básico que Eddington ha llegado a afirmar que: "La ley de que la entropía siempre aumenta constituye, una de las Leyes supremas de la Naturaleza".

En ciencias físicas, la entropía mide el grado de azar o "aleatoriedad" de la situación y la tendencia de los sistemas físicos a hacerse cada vez menos organizados y cada más aleatorios, es básica para Eddington quien afirma que esta tendencia es la que en principio asigna sentido al tiempo, es lo que nos revela si la película del mundo físico, circula hacia adelante o hacia atrás.

En teoría de la comunicación la entropía es importante. Que la información se mida por la entropía es natural, si se piensa que, la información se asocia al grado de libertad de elección que se tiene al construir los mensajes. Dada una fuente de información, se puede decir que ésta situación está muy organizada y no se caracteriza por un elevado grado de azar o de elección es decir, la información (o la entropía) es baja.

La entropía (información, o libertad de elección) de cierta fuente de información se puede comparar con el valor máximo que esta entropía podría alcanzar si estuviese sujeta sólo, a la condición de que la fuente continúe empleando los mismos símbolos. La relación existente entre la entropía real y la máxima, se llama entropía relativa de una fuente. El complementario de la entropía relativa, es decir uno menos la entropía relativa, se llama redundancia es la fracción del mensaje que no está determinada por la libre elección del emisor, sino por las reglas estadísticas aceptadas que gobiernan el uso de los símbolos en cuestión. Se llama redundancia porque esta fracción del mensaje coincide con lo que en sentido ordinario se entiende por redundancia o lo que es lo mismo, esta fracción del mensaje es innecesaria (y por tanto repetitiva o redundante) en el sentido de que si faltara, en el mensaje, éste seguiría completo, o podría completarse.

Si se tiene un conjunto de n símbolos independientes, o un conjunto de n mensajes completos independientes, cuyas probabilidades de elección son $p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$, entonces la expresión real de la información será:

$$\sum_{j=1}^n p_j \cdot \log p_j.$$

Veamos con unos ejemplos los valores que toma ésta expresión. Supongamos que sólo estamos eligiendo entre dos mensajes posibles, cuyas probabilidades son p_1 para el primero y $p_2 = 1 - p_1$ para el segundo. La entropía, que representamos por H alcanza el valor mayor, o sea 1, cuando los dos mensajes son igualmente probables, o sea, $\{p_1, p_2\} = 1/2$. En este caso se dispone de libertad total para elegir entre los dos mensajes. En cambio, cuando un mensaje es más probable que otro (por ejemplo p_1 mayor que p_2) el valor de H disminuye. Y cuando un mensaje es muy probable (p_1 es casi 1 y p_2 casi 0), el valor de H es muy pequeño (casi cero). En el caso límite en que una de las probabilidades sea la unidad (certeza) y la otra cero (imposibilidad), H alcanza el valor cero (no hay libertad de elección, no hay información).

El término H alcanza su mayor valor cuando las dos probabilidades sean iguales (es decir, cuando es completamente libre e imparcial en la elección); y se reduce a cero cuando la libertad de elección desaparece.

La situación descrita anteriormente corresponde al caso singular en que los mensajes sean dos. Si los mensajes posibles son muchos, en vez de dos, entonces la entropía es máxima cuando las probabilidades de las diversas elecciones son aproximadamente iguales y la entropía tiene el valor mayor cuando la libertad posible es mayor que en las elecciones sin que se ejerza presión o influencia hacia algunas de ellas. Supongamos que una elección tiene una probabilidad próxima a 1 y que las otras tienen probabilidades próximas a cero. En esta situación se está influenciado hacia una elección en particular, y por tanto se tiene poca entropía.

La información es mayor a medida que las probabilidades se igualan. Otra forma de hacer crecer el valor de H es aumentando el número de casos. Concretamente, cuantas más elecciones haya, mayor será H para probabilidades aproximadamente iguales. Hay más información si se selecciona entre 100 mensajes que si se selecciona entre 25.

La teoría de Información es una parte de la teoría de la probabilidad que se ha desarrollado para facilitar una medida de la corriente de información que va desde una fuente de información a su destino. También facilita una medida de la capacidad de un canal de comunicaciones, tal como un cable de telefónico, y muestra los procedimientos óptimos de codificación para la comunicación.

Originalmente fue desarrollada para las redes de teléfono, pero la teoría tiene aplicación a cualquier proceso de comunicación, por ejemplo a un ser humano que habla a otro. Puede también ser entendido como una sucursal de cibernética, la ciencia de control y comunicación, y tiene fuertes asociaciones con el control diseño, teorías del aprendizaje y la fisiología del sistema nervioso.

La teoría de la Información se desarrolló con gran alcance en los laboratorios de la Bell Telephone Company de Nueva Jersey bajo los auspicios de Claude Shannon en los decenios de 1940 y 1950. Otras versiones de la teoría fueron sugeridas por D. M. MacKay y Dennis Gabor.

La teoría de la información involucra principalmente a una fuente de información que es codificada y transmitida desde un canal al receptor, donde se descifra. Hay dos versiones de la teoría de la información, una continua y otra discreta. La primera se preocupa de la longitud de onda, la amplitud, y la frecuencia de las comunicaciones señalizadas, y la segunda se asocia con los procesos estocásticos (azar) de la teoría automática.

La teoría discreta se aplica a una gama más grande y se desarrolló para canales con ruido y silenciosos. Un canal ruidoso contiene señales indeseables y requiere que un filtro tome una copia del mensaje transmitido y lo compare con el mensaje recibido.

Los teoremas más complicados para los sistemas continuos y discretos, con o sin ruido, constituyen la teoría matemática de la información (mathematical theory of information). La teoría discreta genera sucesiones de letras y palabras que se pueden aproximar al Inglés ordinario.

La teoría de Información es una herramienta importante para el análisis del idioma o de cualquier secuencia de sucesos y su codificación, transmisión, recepción y descifrando. Tales métodos se han usado para describir desde el punto de vista del aprendizaje, siendo la fuente algún modelo de sucesos que ocurre (en el caso del aprendizaje humano, ésta es frecuentemente la naturaleza o la vida).

La teoría de la información también se ha usado en algunos modelos del sexo, del pensamiento y de las creencias (algunas configuraciones de las neuronas) son la fuente; ellos son codificados en el idioma del sistema nervioso, traducidos a un idioma natural tal como el Inglés, y descifrados por el oído en sus pensamientos propios. Hay también una semántica de la información, tan poco desarrollada, que se reparte con significados, a diferencia de la incertidumbre de la información.

El matemático Claude Elwood Shannon¹ aplicó (1948) una teoría matemática de la comunicación que posteriormente fue llamada Teoría de la Información. Definió la información como el grado de libertad de la fuente de información para elegir entre elementos de un idioma a fin de componer un mensaje determinado. Este trabajo, de importancia fundamental en problemas de Comunicación, abrió nuevas trayectorias de investigación en las matemáticas. La comunicación se manifiesta en una variedad de comportamientos, procesos, y tecnologías cuyo significado se transmiten o derivan de la información. El término se usa para describir actividades diversas tales como: la conversación; los datos que se intercambian entre computadoras; el cortejo en el comportamiento de los pájaros; el impacto emocional de una obra de arte; el curso de un rumor en una empresa; y la red de subsistemas nerviosos y metabólicos que constituyen el sistema inmunológico del cuerpo. Una diversidad tal de usos del término, no permite marcar claramente las fronteras que delimitan el campo de la comunicación. Ningún corte es suficientemente claro y ninguno tiene una aceptación universal amplia.

¹ Shannon se doctoró en el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT) en 1940. Después trabajo en Bell Telephone Laboratories (1941-57), y él llegó a ser Profesor de Ciencias (1958) en el MIT. Bibliography: Scientific American, eds., Mathematics in the Modern World (1968).

Hasta el siglo XX, las teorías de la comunicación eran un campo casi exclusivo de los escritores, de la filosofía, del idioma, y de la retórica. Aristóteles enseñó que la retórica era una búsqueda por todos los medios disponibles de la persuasión y que uno tenía que examinar al hablador, el mensaje, y al auditorio a fin de comprender el efecto de la retórica y como logró efecto deseado. Ese concepto se mantuvo, sin modificaciones importante, hasta el presente siglo.

Descartes y Leibniz defendieron que las matemáticas eran un idioma universal para describir los fenómenos y los sistemas físicos, y especularon sobre el desarrollo de idiomas artificiales para mejorar la precisión de la comunicación. Esta orientación continúa en algunos aspectos de la lógica matemática en el momento actual.

Los psicólogos que estudiaron el comportamiento y sus antecedentes con estímulos diversos exploraron algunos aspectos del comportamiento de la comunicación en la primera mitad del siglo XX, pero no fue hasta la publicación de dos trabajos, en 1948, cuando se llegó a una teoría comprensiva de la comunicación. En ese año, Claude Shannon publicó "La Teoría Matemática de la Comunicación" (The Mathematical Theory of Communication) y Norbert Wiener "Cibernética: Control y Comunicación en el Animal y la Máquina" (Cybernetics: Control and Communication in the Animal and the Machine) con una gran aceptación. Desde entonces han aparecido gran cantidad de modelos, siendo la mayoría variaciones de estos dos trabajos.

El modelo de Shannon incluye seis elementos:

1. La fuente de información (comúnmente una persona).
2. El transmisor.
3. El canal de comunicación.
4. La fuente de ruido.
5. El receptor.
6. El destino (comúnmente otra persona).

Shannon colaboró para escribir La Teoría Matemática de Comunicación (1948), con Warren Weaver, modificando la teoría original y extendiéndola para que fuese comprendida por los lectores no matemáticos.

El modelo modificado incluye:

1. La fuente (el orador).
2. El codificador (el sistema vocal).
3. El mensaje (idioma y expresiones visuales).
4. El canal (ondas sin obstáculos en el aire).
5. El decodificador (oídos del oyente).
6. El receptor (el oyente).

La fuente de ruido (estática en la radio; o el ruido de fondo en la comunicación personal) se definió luego como la entropía del sistema. Una de las contribuciones de Weaver a este modelo comenzó con su explicación de que toda comunicación se preocupa de tres problemas:

1. Precisión de los símbolos de comunicación que se transmiten.
2. Exactitud con la que los símbolos llevaron el significado a su destino.
3. Influencia del mensaje recibido en la conducción de la manera deseada.

Weaver reconoció que la formulación matemática de Shannon podría facilitar una teoría dentro de la cual se pueden examinar los tres problemas. No desarrolló una teoría general de la comunicación, pero introdujo el concepto de retroalimentación. Este concepto, lo infirió desde la observación de las

interacciones entre los seres humanos, los animales y el ambiente físico. Weaver describió muchas maneras en las que los organismos modifican su comportamiento propio para corregir reacciones adversas a algún otro aspecto de su comportamiento.

En comunicación, la retroalimentación es una señal verbal o visual que indica si el mensaje se ha recibido e interpretado correctamente; puede ser un movimiento de la cabeza, una bofetada en la cara, o una pregunta. Weaver usó el término homeostasis para describir la capacidad de detectar una desviación del estado deseado y un mecanismo de retroalimentación por el que la discrepancia se anota y alimenta al dorso, al objeto de modificar el comportamiento. Tal sistema se aproxima más estrechamente a la comunicación interpersonal real, y pocos modelos teóricos de hoy dejan de incorporar el concepto de retroalimentación.

Los modelos no ofrecen una teoría única de la comunicación humana pero presenta una gama de teorías específicas que pertenecen a diversas situaciones de comunicación. En ciencias sociales, estas teorías han modificado el modelo de Shannon-Weaver y el modelo cibernético para incluir con mayor énfasis naturaleza de la interacción, la respuesta al mensaje, y el contexto dentro del que la interacción ocurre. Como ejemplo extremo de desarrollo del modelo, Marshall McLuhan retiene que el medio de comunicación -el canal- ejerce una influencia tan fuerte sobre el proceso de la comunicación que virtualmente controla lo que se comunica.

Noam Chomsky, en su libro Estructuras Sintácticas (Syntactic Structures, 1957), rechazó algunas de las suposiciones matemáticas de Shannon y Weaver por considerarlo inadecuado para describir las maneras en que la gente utiliza la gramática Inglesa; éste psicólogo fue influido por George A. Miller para hacer el trabajo experimental sobre las respuestas humanas al idioma y su significado.

La antropología y psicología social ha desarrollado también elaborados modelos, que tratan tales factores como las variables de personalidad predisposicional, la credibilidad de la fuente, los estados de consistencia cognitiva del receptor, la naturaleza y el papel de las actitudes, y las variables de los mensajes seleccionados. Dada la diversidad de usos del término comunicación, es inverosímil que haya un modelo universal apropiado de amplia aceptación para todas las disciplinas.

El término comunicación en un sentido amplio, se utiliza en el contexto de la Teoría de la información, como "el conjunto de procedimientos por los cuales una mente puede afectar a otra". Esta definición, contiene la conversación oral o escrita, la música, las artes pictóricas, el teatro, el ballet, y en general todas la manifestaciones humanas. En algunos casos, se define más genéricamente como el conjunto de procedimientos por medio de los cuales, un mecanismo afecta a otro mecanismo.

El sistema de comunicación puede representarse simbólicamente por los siguientes elementos:

1. La fuente de información que es quien selecciona el mensaje deseado entre los posibles. El mensaje seleccionado puede consistir en palabras habladas o escritas, imágenes, música, ficheros electrónicos, etc.

2. El transmisor que es quien transforma el mensaje en la señal que se envía a través del canal de comunicación desde el transmisor al receptor. Por ejemplo, en telefonía y facsímil el canal es un cable, y la señal una corriente eléctrica variable sobre el mismo; el transmisor es el conjunto de dispositivos (transmisor telefónico o fax) que convierte la presión sonora de la voz en una corriente eléctrica variable. En telegrafía, el transmisor codifica las palabras escritas en una sucesión de corrientes interrumpidas de longitud variable (puntos, rayas, espacios). En el lenguaje oral, la fuente de la información es la mente, el transmisor es el mecanismo de la voz, que produce variaciones de presión sonora (señal) que se transmiten por el aire (canal). En la radio, el canal es simplemente el espacio y la señal es la onda electromagnética que se transmite.

3. El receptor es el inverso del transmisor, pues convierte la señal transmitida en mensaje que utilizará el destino. Cuando dos personas hablan, el cerebro del que transmite es la fuente de información y el cerebro de quien escucha el destino. El sistema vocal de quien habla es el transmisor y el oído, de quien escucha, el receptor.

4. Durante el proceso de transmisión se añade a la señal cosas no deseadas, que denominamos ruido, a la fuente de información. Estas adiciones toman formas diversas tales como: las distorsiones del sonido en telefonía, ruidos estáticos en radio, distorsiones de brillo en las imágenes de televisión, errores de transmisión en telegrafía o facsímil, errores en la transmisión de archivos en las comunicaciones entre ordenadores, etc.

Algunas preguntas que cabe hacer sobre el sistema de comunicación propuesto son: ¿Cómo se mide la cantidad de información?, ¿Cómo se mide la capacidad de un canal de comunicación?, ¿Cuáles son las características de un proceso de codificación eficaz?, ¿A qué velocidad puede el canal manejar la información?, ¿Cuáles son las características generales del ruido? ¿Cómo afecta el ruido a la fidelidad del mensaje finalmente recibido en su destino?, ¿podemos hacer disminuir los efectos no deseados del ruido, y hasta qué punto pueden ser eliminados?, etc.

El concepto de información es importante en el análisis económico, la cantidad gastada en un determinado bien o servicio puede ser expresado como un término relativo resultante del cociente entre la cantidad gastada en ese bien y el gasto total. Los valores resultantes de dichos cocientes tienen dos propiedades significativas, son valores no negativos y la suma de los valores resultantes de dividir el gasto que se realiza en cada bien entre el total gastado suma la unidad. Por ésta razón, son matemáticamente equivalentes a probabilidades y constituyen elementos básicos para interrelacionar conceptos.

La medida de la información puede aplicarse a la calidad de los pronósticos que se realizan en economía durante un período determinado. La idea que se aplica es simple y consiste en, considerar, que cuando los datos reales contienen mas información de la que hizo el pronostico éste es malo y cuando hay poca información en la realidad y se predijo acertadamente, el pronostico es preciso.

5. IGUALDAD Y DESIGUALDAD EN ECONOMÍA.

Las medidas de concentración² sirven para poner de relieve el mayor o menor grado de igualdad en el reparto del total de los valores de una variable económica. Por esta razón, son indicadores del grado de equidistribución de la variable. Desde el punto de vista de la equidad, otras medidas de posición o dispersión, no facilitan información relevante respecto al orden o igualdad de la variable que se estudia.

Las medidas de concentración se aplican especialmente a variables económicas tales como los salarios de una empresa, las rentas que perciben las unidades económicas, la financiación que reciben las distintas comunidades o estados de un país, la evolución de los ingresos realmente recibidos a lo largo del tiempo, la concentración industrial, etc. Definimos la concentración como la mayor o menor equidad en el reparto de la suma total de la variable considerada.

Así, dada una distribución de frecuencias de la variable x_i para $i = \{1, 2, \dots, n\}$, estamos interesados en estudiar hasta que punto :

²Martín-Guzman, M.P. y Martín Pliego, F.J.: "Curso básico de estadística económica". 30 edición. Editorial AC, pág.: 91 y sig.

$$\sum_{i=1}^n x_i = X$$

Está equitativamente distribuida. Además de los estudios tradicionales por medio del índice de concentración de Gini, Enri Theil basándose en el concepto de entropía observó que el grado de desigualdad podía ser estudiado por medio de dicha función ya que la cuantía de cada variable podía expresarse como un cociente respecto del total, de manera que cada cociente era siempre mayor que cero y la suma de los cocientes de todas las variables era igual a la unidad. Permitiendo ello razonar en términos de probabilidad tal y como la teoría de la información predecesora de ésta aplicación al campo económico precisaba.

Existen otras medidas que habitualmente utilizamos los economistas, y también los sociólogos, en el estudio de la desigualdad en el reparto de una variable tales como el Coeficiente de variación de Pearson (CV), la varianza del logaritmo natural (VLN) y el índice de Atkinson. La conveniencia de utilizar una u otras medidas se ve justificada por las características de la distribución de frecuencias que aconsejan una u otra medida.³

Cuando H. Theil, escribía su libro, en el que utilizaba la teoría de la información como base de su aplicación a la economía, afirmaba que el mismo podía ser aplicado a distintos problemas entre los que mencionaba explícitamente los siguientes: la medida de la desigualdad de los ingresos, la concentración industrial, la concentración del comercio internacional, la evaluación de las encuestas, para ajustar relaciones de comportamiento, para el análisis de agregación en los modelos imput-output, para los problemas de números índices de precios y cantidades. Todos ellos problemas suficientemente importantes como para ser considerada la medida en ésta comunicación.

Siendo una variable aleatoria discreta que toma los valores x_i , para $i = \{1, 2, \dots, n\}$, en los que la probabilidad de que ocurra cada uno de los sucesos vienen dadas por $P(x_i)$ que es un valor comprendido entre 0 y 1, es decir que verifica que:

$$P(x_i) \geq 0, i$$

y la suma de la probabilidad de todos los sucesos posibles es igual a 1:

$$\sum_{i=1}^n P(x_i) = P(x_1) + P(x_2) + \dots + P(x_n) = 1$$

Definimos entropía de la variable aleatoria, la denotamos por H a la siguiente expresión si existe:

$$H(\xi) = H[P(x_1), P(x_2), \dots, P(x_n)] = \sum_{i=1}^n P(x_i) \cdot \log_2 P(x_i)$$

La función de entropía es una función logarítmica, lo que está de acuerdo con el hecho de que, cuando una información es muy poco probable y ocurre, su valor es mayor (autoinformación alta), que

³ Figart, D.M. (Richard Stockton College) y Lapidus, J. (Roosevelt University): "The impact of Comparable Worth on Earnings Inequality". *Work and Occupations*, vol.: 23, núm. 3, August 1996, págs.: 297-318.

cuando ocurre un hecho, que todo el mundo consideraba que iba a suceder. Como conocemos el logaritmo de cero es infinito, por lo que cuanto más se aproxima, la probabilidad de ocurrencia de un suceso a cero mayor será su logaritmo. Además la suma de los n valores están ponderadas por el peso que supone la probabilidad de ocurrencia de cada suceso.

En la entropía de la información, la base de los logaritmos es la binaria, aunque habitualmente no se indicará y se deberá sobre entender salvo que se indique otro proceder. No obstante conviene recordar que entre los logaritmos se verifica la siguiente propiedad:

$$\log_2 M = \frac{\log_{10} M}{\log_{10} 2}$$

En la definición de entropía intervienen los n productos de la probabilidad de que ocurra el suceso $P(x_i)$ y el $-\log_2 P(x_i)$. A este último término se le denomina autoinformación. Es tanto mayor cuanto menor es la probabilidad de que el suceso x_i ocurra. El producto de n términos formados por el producto de $P(x_i) \cdot -\log_2 P(x_i)$ representan el valor medio de las informaciones que pueden proporcionar los resultados posibles de las variables aleatorias. La entropía, de la información, representa una medida de la incertidumbre, ésto se justifica por sus propiedades⁴:

1. *Propiedad:* La entropía siempre es mayor o igual que cero. En particular la H es igual a cero cuando ocurre que un valor i cualquiera, acumula toda la probabilidad de que el suceso ocurra (suceso cierto) $P(x_i) = 1$, y el resto de los $j \neq i$ son iguales a cero $P(x_j) = 0$ (sucesos imposibles).
2. *Propiedad:* Si todos los resultados son equiprobables la entropía coincide con la medida de Hartley, es decir es igual al $\log n$.
3. *Propiedad:* Si dos variables aleatorias se diferencian entre sí en un resultado que tiene probabilidad nula, entonces sus entropías son idénticas.
4. *Propiedad:* Manteniendo la equiprobabilidad de los resultados la entropía aumenta con el número de datos.
5. *Propiedad:* La entropía de una variable que toma n valores es máxima cuando todos los resultados son equiprobables.
6. *Propiedad:* La entropía es una función simétrica de sus n argumentos, es decir:

$$H [P(x_1), \dots, P(x_i), \dots, P(x_j), \dots, P(x_n)] = H' [P(x_1), \dots, P(x_j), \dots, P(x_i), \dots, P(x_n)]$$

6. CONCLUSIONES.

La entropía es una medida apropiada de medida de la desigualdad en el reparto de las variables económicas. Su procedencia desde las ciencias fundamentales, y el devenir que en las líneas anteriores hemos reseñado, ponen de manifiesto como es posible, e incluso conveniente, interaccionar los conocimientos que se producen en cualesquiera ciencias, en sus métodos de tratamiento de la realidad observable, procesos de investigación y obtención de conclusiones. Existen particularidades propias, a

⁴ Un desarrollo y justificación de las propiedades que aquí simplemente se enumeran se puede encontrar en: "La entropía: medida de la desigualdad". Cuenca Tadeo, J.L. y Reyes Molero, M C.: Comunicación en el Congreso: Andalucía en el umbral del siglo XXI. Jerez. 23-25 de Abril de 1.997.

cada una de las ciencias, que no deben ser obviadas y que pueden producir particularidades relevantes en el razonamiento científico. Pero, son más los aspectos generalizables y totalizadores de la ciencia, que las diferencias que llevan a encajonamientos del conocimiento que no hacen sino dificultar el avance hacia un conocimiento totalizador y riguroso.

La evolución y diversificación de la ciencia, no permitirá que nuevos Leibnitz, que sabía de todo, aparezcan en un próximo futuro, pero debe mantenerse la atención, a otras ciencias, que permita la transmisión e intercambios de conocimientos. No lograremos científicos con la formación privilegiada del siglo dieciocho, para abarcar toda la ciencia de su tiempo, un perfecto conocimiento de varios idiomas, y una amplia cultura. Es necesario integrar el conocimiento, es forzoso integrar diferentes disciplinas, en fin es conveniente volver a troncos comunes en los que ciencia, técnica y humanidades se integren para formar hombres con una visión más completa de nuestro mundo.

BIBLIOGRAFÍA.

- Ash, R. B.: *Information Theory* (1965).
Bendat, J. S.: *Principles and Applications of Random Noise Theory* (1958; repr. 1978).
Broadbent, D. E.: *Perception and Communication* (1987).
Carnap, R.: *Two Essays on Entropy*, ed. by Abner Shimony (1978).
Clark, F.: *Information Processing* (1970).
D'Agostino, F.: *Chomsky's System of Ideas" (1985).*
Eastman, C.: *Aspects of Language and Culture* (1975).
Faber, M., and Niemes, H.: *Entropy, Environment, and Resources* (1987).
Fenn, John B.: *Engines, Energy and Entropy: " A Thermodynamics Primer* (1982).
Goffman, E.: *Forms of Talk* (1981).
Guiascu, S.: *Information Theory with New Applications* (1977).
Haber, F.: *An Introduction to Information and Communication Theory* (1974).
Hanna, J.L.: *To Dance Is Human: " A Theory of Non-Verbal Communications* (1987).
Harman, Havelock, E. A.: *The Muse Learns to Write: " Reflections on Orality and Literacy from Antiquity to the Present* (1986).
Hockett, C.: *State of the Art* (1968).
King, S. S.: *Human Communication as a Field of Study* (1989).
Kubat, D.: *Entropy and Information in Science and Philosophy* (1975).
Kullback, S.: *Information Theory and Statistics* (1974).
Leiber, J.: *Noam Chomsky* (1975).
Littlejohn, S.: *Theories of Human Communication* (1978).
MacKay, D.: *Information, Mechanism and Meaning* (1970).
McLuhan, M.: *Understanding Media* (1969).
Meetham, A. R.: *Encyclopedia of Linguistics, Information and Control* (1969).
Morris, C.: *Signs, Language, and Behavior* (1946).
Nussbaum, J. F., et al.: *Communication and Aging* (1988).
ONeil, J.: *The Communicative Body* (1988).
Rosie, A. M. *Information and Communication Theory, 2d ed.* (1973).