

REAL ACADEMIA DE CIENCIAS
EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES

DISCURSO INAUGURAL
DEL CURSO 1954-1955

LEIDO EN LA SESION CELEBRADA EL DIA 10 DE NOVIEMBRE DE 1954

POR EL ACADEMICO NUMERARIO

EXCMO. SR. D. PEDRO PUIG ADAM



M A D R I D
DOMICILIO DE LA ACADEMIA
VALVERDE, 22.—TELEFONO 21-25-29
1 9 5 4

INFORMACION, ENTROPIA Y CAOS

EXCMOS. SRES. ACADÉMICOS, SRAS. Y SRES. :

Luego de agradecer la honra de mi designación para hablaros en este acto, me veo obligado a pedir os indulgencia en gracia a la perentoriedad del encargo y a las circunstancias dolorosas y agobiadoras en las que me he visto forzado a cumplirlo. Perdonadme si, muy a mi pesar, no puedo ofrecer os un trabajo digno de este sitio y de este momento, y alegraos al menos de que obligadamente resulte breve por insuficiencia, ya que no por selección.

Grave dificultad suele ser la reducción de estos discursos al límite tolerable de fatiga del auditorio. Casi siempre falta tiempo para ser breve ; es decir, para seleccionar y podar. En esta ocasión no he llegado a plantearme siquiera el problema de la poda ; tal ha sido la escasez de tiempo y de sosiego. Tiempo devorado por la prisa ; sosiego asaltado por nostalgias, por recuerdos...

Entre los juegos de adivinación con los que alguna vez me entretuvo mi padre en mi niñez me intrigaban unas tablitas con muchos números. Elegido uno de ellos al azar bastaba señalar las tablas en las que se hallaba escrito para que el poseedor de la clave acertara el número elegido. Consistía el secreto en sumar los números que encabezaban las tablas señaladas.

Al estudiar más tarde los sistemas de numeración comprendí la esencia matemática del juego. Se manejan en él números que tienen (a lo sumo) tantas cifras binarias (0,1) como tablas exami-

nadas. En la primera figuran todos los números enteros, cuya cifra de unidades de primer orden es 1 ; en la segunda, todos los que tienen 1 en las unidades de segundo orden..., y así sucesivamente. El número que encabeza cada tabla es el menor de ellos ; es decir, el que tiene el 1 en su lugar correspondiente y las demás cifras 0 ; de aquí que baste sumar los números cabeza de tablas en que se halla el número elegido para reconstruir éste. No hay que decir que los números están escritos en sistema decimal, pero la esencia del juego aparece con toda su elemental claridad en numeración binaria.

Cito esta sencilla diversión como punto de partida del juego de ideas con que pienso entreteneros unos momentos, por parecerme uno de los ejemplos más claros y significativos que pueden elegirse para ilustrar el concepto de cantidad de información, concepto básico en la teoría de la comunicación, sobre la que discutiré mi charla.

Para los físico-matemáticos cultivadores de dicha teoría, comunicación es todo acto por medio del cual un ser influye en la conducta de otro. De este modo incluyen en la teoría de la comunicación la mayor parte de las manifestaciones de la vida de relación humana : lenguaje, arte, música, teatro..., y asimismo las relaciones entre animales ; y, a mayor abundamiento, las conexiones entre ingenios y mecanismos.

Un sistema de comunicación enlaza dos sujetos : remitente y destinatario. Conviene considerar el primero como elemento que selecciona el mensaje entre una multitud de mensajes posibles, y el segundo, como un sujeto expectante cuya incertidumbre apriorística, acerca del mensaje que espera, corre parejas con la libertad de selección del emisor. La transmisión del mensaje se hace a través de un vehículo o canal (material o inmaterial), pero antes precisa transformar el mensaje en señales transmisibles por medio de tal vehículo. Ello obliga a interponer entre el sujeto emisor y el canal un elemento transmisor que traduce el mensaje en señales, y asimismo entre el canal y el destinatario un receptor que efectúe la traducción inversa. En resumen : el remitente *selecciona*, el transmisor *traduce*, el canal *transmite* y el receptor *traduce inversamente* para que el destinatario *reciba*.

Nótese que los elementos transmisor y receptor, encargados de traducir el mensaje en señal y viceversa, pueden ser muy complejos según lo que juzguemos como sujetos remitente y destinatario, lo que consideremos como mensaje y señal, según donde situemos, en definitiva, el origen y el término de la cadena. Porque si en un sistema de comunicación telegráfica consideramos como mensaje el telegrama tal cual sale de las manos del remitente, el sistema transmisor está formado por el aparato Morse o teletipo junto con el telegrafista que le maneja ; pero si consideramos el origen del mensaje en el cerebro remitente, entonces se añade al aparato transmisor anterior todo el sistema nervioso muscular de éste, capaz de dar forma escrita al mensaje conceptual. Y aun en capas más profundas hallaríamos todo el sistema lógico intelectual sintético capaz de resumir en pocos términos el complejo conceptual que se desea transmitir. Operaciones inversas aparecen, naturalmente, en la traducción y comprensión del telegrama por parte del destinatario. En cada una de estas fases pueden, pues, surgir causas de error y perturbación (noise), afectando no solamente a la transmisión técnica de las señales, sino también a la transformación o traducción previa y posterior del mensaje.

Si no hubiérais de interpretarlo como una falta de respeto a esta casa me permitiría citar a este propósito el recuerdo de una pequeña chanza que me trae a la memoria otra asociación de ideas, en este caso retozona, y cuyos protagonistas son los legendarios e inefables Otto y Fritz. Consiste en un simple cruce de telegramas. De Otto a Fritz : «Infórmame si sabes dirección Müller». De Fritz a Otto : «Sí».

Suele celebrarse, considerándola ridícula, la escueta respuesta de Fritz ; pero, bien analizada, no puede ser ni más correcta ni más sensata. La pregunta de Otto no pide en rigor más que una información disyuntiva : Si «sabe» o si «no sabe» ; lo que se llama un *bit* de información ; y Fritz suministra exactamente el *bit* pedido. Claro es que la intención de la ocurrencia estriba en sugerir que el primer telegrama pide la dirección ; pero entonces huelga por completo el condicional «si sabes» (si no supiera, ¿cómo podría informar?), condicional que no es ni siquiera justificable como

fórmula de cortesía en el lenguaje telegráfico, que debe ser, por obligada naturaleza, conciso y exacto. Lo que debe mover a risa no es, pues, la respuesta de Fritz, sino el mensaje de Otto, por redundante y confuso.

Y después de esta presentación del *bit*, unidad de información, volvamos al hilo de las ideas.

Según la capa más o menos profunda a que lleguemos en el origen y en el destino de la comunicación, así resultan los distintos niveles a que alude Warren Weaver en su interesante epílogo a la teoría de Shanon (1). El nivel *técnico*, en el que pretende situarse exclusivamente Shanon, estudia simplemente la transmisión de símbolos o señales. El nivel *semántico* cala más hondo, estudiando la transmisión de conceptos. Finalmente, aún cabe situarnos en nivel más profundo, que podríamos llamar *psicológico*, estudiando la influencia que determina el mensaje transmitido en la conducta del sujeto receptor.

Afirma Weaver con razón que los tres niveles no son tan independientes como pueden parecer a primera vista y no permiten una división demasiado tajante de problemas. Los problemas sobre capacidad y fidelidad en la transmisión de señales no son independientes del contenido conceptual de ellas. Precisamente dicho contenido es el que crea lenguaje, modificando, como veremos, las probabilidades de tales señales, estableciendo relaciones entre ellas e influyendo sustancialmente en los problemas de codificación y de capacidad transmisora; y este mismo contenido conceptual, al crear redundancia en la transmisión, hace subsanables los errores personales y las perturbaciones de carácter técnico que en ella puedan presentarse. Finalmente, desde el punto de vista de la psicología experimental, y de acuerdo con el concepto de comunicación antes establecido, la eficiencia de un mensaje se comprobará, en última instancia, observando si se refleja su influencia en la conducta del sujeto receptor.

Las perturbaciones pueden aparecer, como hemos dicho, en cualquiera de estos niveles: la falta de coordinación de ideas, la dificultad de lenguaje, los defectos del aparato transmisor, los rui-

(1) CLAUDE SHANON: *The Mathematical Theory of Communication*.

dos del canal por degradación de la energía aportada en él, las averías del receptor, los fallos del oído del destinatario y, en última instancia, sus propias dificultades de comprensión, son otros tantos motivos de perturbación que pueden presentarse en los distintos estadios mencionados.

Ahora bien, ¿qué es lo que en sustancia alteran y en qué medida lo alteran tales perturbaciones? Parece necesario plantear y resolver este problema de medida para juzgar de la bondad de un sistema de comunicación. ¿Cómo valorar, pues, la cantidad de información de tal modo que la medida obtenida se preste a especulaciones útiles para la técnica del servicio suministrado?

El camino que conduce a tal valoración es bastante más sutil de lo que pudiera parecer a primera vista. Lo inmediato y rudimentario fuera, tal vez, medir la cantidad de información por el número de señales o símbolos transmitidos; pero pronto nos daremos cuenta de las contradicciones en que incurriríamos con un criterio métrico tan tosco.

Para localizar un habitante en Madrid necesitamos más información que para localizarle en una aldea. Una carta llega fácilmente a su destinatario aldeano con el nombre y apellidos, y a veces un apodo basta. En una ciudad necesitamos nombre y apellidos, calle, número, piso, puerta, y todavía habría que añadir habitación si hubiera en el piso muchos huéspedes. Parece, pues, obligado admitir que la cantidad de información necesaria para encontrar a un individuo en un colectivo crece con el número de individuos del mismo; es decir, es una función monótona de dicho número, y sólo resta precisar qué función nos conviene elegir. Es natural adoptar una función tal que dé para dos individuos una cantidad de información que sea la suma de las necesarias para cada uno de ellos. Ahora bien, el número de parejas de individuos que se pueden formar con los de dos colectividades es el producto (no la suma) de los números de individuos de una y de otra. Se comprende así que la escala o función natural de medida es la logarítmica, por ser la única que transforma el producto en suma. Y con esto hemos dado el primer paso fundamental en el problema de la medida: la medida de la información necesaria para individualizar un elemento entre un número finito de ellos se obtiene

tomando el logaritmo del número de individuos del conjunto. La base del sistema de logaritmos dependerá de la elección de unidad. Este resultado, obtenido mediante un ejemplo sencillo, se generaliza luego convenientemente para medir la cantidad de información en casos más complejos.

Pero antes recordemos el ejemplo de las tablas de adivinación. Señalar cuáles son las que contienen el número elegido, y, por tanto, por exclusión las que no lo contienen, equivale a dar otros tantos informes de carácter disyuntivo, «sí» o «no», que en este caso se traducen en cifras, 1 o 0, del sistema binario. Como ya se ha dicho, en la teoría de la comunicación el informe de una discriminación disyuntiva se toma como unidad de información, llamada *bit* (Tukey) o *binit* (Goldman). Con un juego de ocho tablas suministramos, pues, ocho *bits* de información, los cuales son necesarios y suficientes para individualizar un número de ocho cifras binarias; es decir, desde 1 hasta 2^8 . En general, n bits permiten discriminar un individuo entre 2^n , siendo n , por tanto, el exponente o logaritmo que mide, según se ha dicho, la cantidad de información. La base del sistema de logaritmos es, con esta unidad, el 2. Como se ve, la ley logarítmica nace del convenio sobre la definición de suma, mientras la base del sistema viene dada por la elección de unidad.

Volviendo ahora al ejemplo de las direcciones, nos damos cuenta de que la cantidad de palabras o letras que contienen no dan una medida razonable de la información que suministran, ya que dos cartas de servicio interior, una en Madrid y otra en Guadalajara, por ejemplo, con la misma dirección: «Generalísimo, 1», representan, como hemos dicho antes, cantidades de información muy distintas, debido a que la primera recae sobre un conjunto de individuos mucho mayor que la segunda. En cambio, si la carta procede de un tercer lugar y se añade a la dirección anterior las palabras Madrid o Guadalajara, la cantidad de información resulta ya igualada por referirse ahora una y otra a un mismo conjunto, el de todos los españoles. Las informaciones suplementarias suministradas por los datos geográficos añadidos, Madrid o Guadalajara, tienen también desigual valor informativo, pero con signo de desigualdad opuesto que complementa la información ante-

rior. La palabra Madrid discrimina mucho menos que la palabra Guadalajara, por lo que esta última contiene mayor grado de información.

Resumiendo : dos informaciones literalmente iguales (calle y número) pueden contener cantidades de información totalmente distintas si recaen sobre conjuntos (ciudades) diferentes, cuyo conocimiento se supone implícito en el receptor. Por el contrario, dos informaciones pueden tener idéntico valor, siendo literalmente distintas, por efecto de una distinta codificación geográfica.

El ejemplo que precede, con toda su ingenua simplicidad, pone además de manifiesto las dificultades que introduce en la teoría de la información el carácter semántico de los mensajes. Si unos mismos atributos (calle y número) tienen valor informativo distinto según el concepto (lugar) sobre el que recaen (Madrid, Guadalajara), no es de extrañar que lo mismo ocurra para atributos más generales contenidos en la emisión de cualquier juicio, ya que constituyen informaciones cuyo valor es variable según la amplitud del concepto sobre el que recae el juicio emitido y, por tanto, según la cantidad de información que el simple enunciado de dicho concepto supone. Ante esta dificultad, la teoría de la información intenta eludir el carácter semántico de las frases transmitidas, considerando éstas como simples conjuntos de letras del alfabeto, del mismo modo que la información en el juego de las tablas es un conjunto de afirmaciones o negaciones representables por un alfabeto de dos signos, 0 y 1.

Pero la dificultad que se soslaya por un lado surge por otro, complicando las fórmulas y exigiendo un análisis muy fino de las mismas. Si la cantidad de información necesaria para individualizar un número de n cifras binarias se formula razonablemente mediante el logaritmo 2^n , sería erróneo formular por analogía mediante el logaritmo de 30^n la cantidad de información de un telegrama ordinario formado por n signos tomados de un alfabeto que tenga 30 en total. Aunque sea también 30^n el número de variaciones n arias con repetición de dichos 30 signos, ocurre en este caso que la mayor parte de tales variaciones son totalmente *improbables*, no sólo desde el punto de vista conceptual, por carecer de sentido, sino aun desde el simple punto de vista fonético

y ortográfico. Ninguna palabra castellana tiene, por ejemplo, consecutivas las letras q r, ni las j k, ni las v f... Aparece, pues, como esencial en estas cuestiones la noción de *probabilidad del mensaje*, noción que estaba ya latente en los ejemplos sencillos antes considerados, sin que haya sido necesario aflorarla hasta ahora.

Si nos situamos en el punto de vista del emisor del mensaje obsérvese, en efecto, que la cantidad de información es la medida logarítmica de la libertad de selección al azar entre todos los mensajes igualmente probables (direcciones, números de tablas...), y si nos situamos en el punto de vista del receptor la cantidad de información es el logaritmo de la incertidumbre antes de recibir el mensaje; es decir (con signo opuesto), el logaritmo de la probabilidad del mensaje enviado entre todos los igualmente posibles. (Suponemos, claro es, el mensaje recibido sin perturbación, pues en caso de que tal perturbación exista la cantidad de información se mide por el logaritmo de la razón entre dos probabilidades: las que para el receptor tiene el mensaje enviado después y antes de recibir el mensaje perturbado, lo que equivale en definitiva a disminuir (en valor absoluto) la cantidad de información no perturbada en un cantidad igual al logaritmo de la probabilidad que para el receptor tiene el mensaje después de la perturbación.)

Para poner en claro estos conceptos, que parecen un tanto alambicados, consideremos, tan sólo a los efectos de ilustración, un mensaje que dijera, por ejemplo: «Se remunerará espléndidamente al profesorado.» He aquí algo que supondría gran sorpresa para todo el mundo, y en este sentido contendría para el sujeto receptor de tal mensaje (aunque no perteneciera precisamente al profesorado) una cantidad de información considerabilísima, porque modificaría grandemente la probabilidad que en su concepto tenía acerca del pago futuro de los profesores. En cambio, si el mensaje dijera «insuficientemente» en vez de «espléndidamente» la cantidad de información apenas modificaría tal probabilidad, por lo que se estimaría la noticia de insignificante interés informativo.

Formulemos, pues, ya en términos de probabilidad, la cantidad de información contenida en n bits, o si se quiere el $\log 2^n$.

poniéndolo en la forma equivalente $-\log 1/2^n$, que expresa, en valor absoluto, el logaritmo de la probabilidad $1/2^n$ de acertar un número de n cifras binarias elegido al azar. El signo $-$ se añade por ser negativo el logaritmo de toda probabilidad (siempre menor que 1). Cuando los mensajes no son equiprobables, sino que se distribuyen en un número discreto de probabilidades complementarias p_1, p_2, \dots, p_n (de suma unidad), el valor informativo por mensaje será la media ponderada de las cantidades de información de todos y cada uno de ellos, o sea $-\sum p_i \log p_i$.

Para formular ahora la cantidad media de información de un mensaje de n letras en un idioma determinado el problema se complica todavía más, pues necesitamos saber no sólo la frecuencia estadística con que aparecen aisladamente las letras del alfabeto en el idioma, sino además la frecuencia de los pares, de las ternas, etc. de ellas, ya que la probabilidad de cada letra en cada momento depende de las que han precedido, según hemos indicado antes, a propósito de ciertas agrupaciones improbables.

Así es como el contenido semántico, que hemos pretendido soslayar, nos impone indirectamente su tributo al constreñir nuestra libertad de selección, obligándonos a formular la cantidad de información a través de procesos estocásticos de naturaleza muy compleja, conocidos en estadística matemática con el nombre de cadenas de Markoff.

Estas complicadas interrelaciones entre las probabilidades de los signos constituyen, en definitiva, el reflejo estadístico que queda de su contenido conceptual, de tal modo que, recíprocamente, las propiedades estadísticas de las sucesiones de símbolos de un mensaje permiten muchas veces ascender a dicho contenido; es decir, descifrarlo. Tal es el objeto de la criptografía, cuyo fundamento matemático se halla en la estadística y en la teoría de la información. De aquí que criptógrafos e ingenieros de comunicación coincidan en estudiar el lenguaje como conjunto de signos relacionados estadísticamente.

Se comprende que al descifrar un mensaje aislado atribuyéndole las propiedades estadísticas del lenguaje se establece una hipótesis sólo admisible como punto de partida de tanteos; pero dicha hipótesis va ganando en verosimilitud a medida que se pro-

longa el mensaje, de modo que uno de gran extensión, como, por ejemplo, una novela, puede ya considerarse como estadísticamente representativo del lenguaje todo. La consecuencia de ello es que para representar estadísticamente el idioma lo mismo da tomar un mensaje que otro, con tal de que sean suficientemente largos.

Ocurre, pues, respecto de las propiedades estadísticas del lenguaje, considerado como conjunto de los infinitos mensajes hablados o escritos imaginables en comparación con las propiedades de uno de ellos suficientemente largo, lo mismo que en termodinámica ocurre respecto de las propiedades de un gas considerado como conjunto de sus moléculas y de las particulares de cada una de ellas. En Mecánica estadística se considera cada una de éstas como capaz de adoptar en un tiempo suficientemente largo (al menos con cuanta aproximación se desee) todo el conjunto de posiciones y velocidades de las moléculas del gas, de tal modo que los promedios temporales de dichos valores correspondientes a una molécula cualquiera se consideran representativos de los promedios espaciales de todo el conjunto. Esta tesis, llamada *ergódica*, es la que sirve de base al estudio estadístico de la termodinámica, y sobre su equivalente informativo se asienta asimismo la teoría de la comunicación.

Al amparo de dicha tesis ergódica se proyectan los sistemas de comunicación (aparatos telegráficos, emisoras de radio...), cada uno de los cuales está destinado a transmitir a lo largo del tiempo un mensaje indefinido de propiedades estadísticas igualmente representativas del conjunto de mensajes que constituye el objeto y estudio de la transmisión.

Pero la semejanza entre ambas teorías, termodinámica e informativa, se hace más sorprendente cuando se observa que la cantidad de información, medida como logaritmo de la probabilidad del mensaje, tiene formulación idéntica a la entropía termodinámica, magnitud física que mide el grado de desorganización del estado de un sistema y que es asimismo el logaritmo de la probabilidad de dicho estado. ¡Inquietante analogía! Tan inquietante que sugiere atrevidas consecuencias.

Decía al empezar que la vida de relación humana cabe en gran parte dentro del concepto de comunicación de que hemos partido ;

que toda obra literaria o artística, novela, poema, cuadro o pieza musical, puede ser considerada como un mensaje, y hemos visto cómo el conjunto de signos tipográficos estampados en una novela tiene propiedades estadísticas representativas del idioma, reguladas por sus propiedades gramaticales, las cuales son trasunto en bloque de su contenido semántico. Si de una novela pasamos a un libro de versos rimados, se reflejarán además en las propiedades estadísticas de los signos las exigencias de la rima. Pues bien, este sencillo ejemplo de cómo las propiedades estadísticas de la forma acusan la presencia de un contenido estético, sugiere generalizaciones de mayor alcance. Pienso que algo parecido ocurre con las propiedades estadísticas de la estructura externa en los mensajes de pintores y músicos. Me refiero, claro es, a la distribución espacial de formas y colores en artes plásticas; a la sucesión temporal de ritmos y tonos, armonías y timbres en música, cuyas propiedades deben ser asimismo reflejo de las normas estéticas seguidas en la obra.

Me explicaré mejor para que no se alarmen poetas, músicos ni pintores. No pretendo fundir sus obras en un magma material para atacarle luego con reactivos matemáticos. Tengo suficiente respeto al arte para no pretender deshumanizarlo. Intento, por el contrario, ver a través de sus estructuras, indicios matemáticos de los fenómenos de personalidad, de estilo y evolución; y es natural que acuda para ello a la teoría recién nacida de la información.

Imaginemos tres gatos saltando sobre un teclado, y observemos en el pentágrama la sucesión de sonidos resultante. En seguida nos daríamos cuenta de que la caótica distribución de notas no podría atribuirse más que a un puro azar. Puesta, por ejemplo, al lado de una partitura del «Piano-Rag-Music», de Strawinsky, una de las que más me han desconcertado, notaríamos la enorme diferencia que va de una obra de azar a una obra de arte, por muy endiablada que ésta sea. Todavía vemos en ésta muchos valores formales que en aquélla habrían desaparecido por completo. Y esto lo afirmo sin haber hecho la experiencia ni saber que nadie la haya realizado.

Se sabe, en cambio, que cierto pintor vanguardista hizo pasear, a modo de ensayo, un gallo sobre un lienzo después de sumergir

sus patas en botes de colores diversos, y parece ser que la tal «pintura» obtuvo un cierto éxito de crítica. No me atrevería a afirmar que careciera totalmente de valores estéticos si, como parece, el pintor sabía retirar el animalito a tiempo y graduar hábilmente los cambios de color. Lo que afirmo es que si algún valor estético tenía era, sin duda, la armonía de colores, obra del pintor, y acaso también la forma y distribución de las huellas del ave, resultantes de su anatomía, la cual por cierto no era obra ni de sí misma ni del pintor.

Cito estos ejemplos extremos, en los que el arte roza con el azar, para poner, precisamente, de relieve la existencia de valores estadísticos; es decir, de probabilidad regulada en los mensajes artísticos corrientes.

Ahora bien, parece al pronto que este género de mensajes escapan a todo intento de medida, por el pretendido carácter de continuidad que atribuimos a su *alfabeto*; es decir, a la gama de tonos y timbres, o a la gradación de formas y colores empleados en música o en pintura.

Sin embargo, si analizamos la naturaleza de las estructuras orgánicas a través de las cuales nos llegan tales mensajes, no hallaremos sino un número finito de fibras que vibran, un número finito de células excitadas, un número finito de excitaciones diferenciadas por umbrales de sensación, un número finito de nervios que transmiten estas excitaciones; un número ciertamente enorme de todos estos elementos y de sus combinaciones, pero finito.

No parece, pues, necesario aburrirnos aquí con erudición matemática sobre el análisis armónico de señales continuas, sobre las funciones ortogonales que en él se emplean, sobre los llamados «sampling theorems» en los dominios del tiempo y de la frecuencia..., copiosa documentación con la que se autoriza la entrada de dichos mensajes en la teoría cuantitativa de la información. Basta recordar, creo yo, la limitación macro y microscópica de nuestros sentidos para concebir la cuantificación de tales mensajes y la posibilidad de tratarlos matemáticamente como los mensajes discretos de la telegrafía, sin más dificultad que la derivada de la enorme magnitud de los *alfabetos* en que se expresan.

No existe, pues, imposibilidad teórica de formular la entropía o cantidad de información de un mensaje musical o pictórico de análoga manera a como hemos indicado la formulación de la de un mensaje telegráfico ; esta entropía seguirá midiendo el grado de libertad de que se ha hecho uso en la selección del mensaje ; es decir. en la génesis de la obra, como la entropía de un gas mide el grado de desorganización de sus moléculas. Y del mismo modo que el contenido semántico del mensaje telegráfico determina las propiedades estadísticas de las señales, así también el contenido estético del mensaje artístico se refleja en sus estructuras formales, condicionando su aleatoriedad, su libertad y, por tanto, su entropía. A mayor libertad, mayor entropía ; a la plena aleatoriedad, entropía máxima.

Es más : las propiedades estadísticas de la forma literaria, musical o plástica en una época o escuela, son las que acaso caractericen el «estilo» de dicho momento o lugar. Cuando la forma se convierte en fórmula ; es decir, en regla, surge el amaneramiento, que se manifiesta matemáticamente en pobreza de estructuras y gran frecuencia de ellas ; en resumen : en pérdida de libertad y, por tanto, de entropía.

Así podemos ver desde un punto de vista matemático la implacable evolución del arte. Es un proceso incesante e inevitable de ruptura de formas, acaso consecuencia del pecado engendrador de reglas y maneras. A lo largo de este proceso se recae, a veces, en estructuras formales antiguas, pero casi siempre se crean sistemas estructurales nuevos, cada mes más libres, cada vez más relajados. Concibo, pues, la evolución del arte como un proceso de entropía informativa creciente, análogo al segundo principio de la termodinámica que señala el crecimiento de la entropía en el mundo físico inanimado ; la tendencia inexorable al desorden energético y al caos. Tan inexorablemente característico que Eddington lo considera como el único fenómeno del mundo físico capaz de señalar por sí solo la «flecha del futuro» (*times arrow*), el que nos indica de modo inmediato si los fotogramas de una película están montados en el orden en que se impresionaron o al revés. Pues bien, del mismo modo, el tiempo marca su huella inexorable en la evolución de los estilos en el sentido indicado de entropía informativa creciente, sentido que nos permite asimismo reconocer en líneas generales

la cronología de las obras artísticas por su simple contemplación o audición.

No sé si al acercarnos demasiado al caos plástico o sonoro, hacia cuya meta llevamos ya un buen trecho andado, el hastío nos invite a retroceder a la pintura rupestre y al caramillo. Hoy por hoy, creo que rige el paralelismo apuntado entre ambos principios, y me ha parecido que acaso no era exento de interés mostrárselo razonadamente.

No me atrevería ya a enunciar ley análoga, al menos en un sentido tan impertivo, en lo que se refiere a la evolución moral, social y económica, por muy tentadora que sea la generalización ante la evidente tendencia al caos en las costumbres. La historia más bien parece un constante fluir y refluir de corrientes de orden y desorden. La reversibilidad de las relaciones económicosociales, corrientes de bienestar que no siempre van del mayor al menor potencial, sino que con frecuencia son atraídas por los niveles más altos a expensas de los que les rodean, determinan crisis periódicas de nivelación y desnivelación subsiguiente en favor de los más audaces o desaprensivos. En lo que la humanidad lleva de vida, la lucha entre el bien y el mal no parece decidirse en un sentido que marque el triunfo del futuro, excepto en lo que a las formas se refiere, como si la moral tuviera también su estética. Las formas éticas de cada generación son destruidas por la siguiente, independientemente de los valores morales de fondo; y en ellas se manifiesta asimismo la tendencia a la aleatoriedad y al desorden. Es la consecuencia de un proceso de acorazamiento progresivo de la sensibilidad, defensa acaso evolutiva ante las crecientes erosiones de la vida de relación. Sufro, luego existo, parece ser la premisa y término de la vida actual.

Pero volvamos a contraponer al pasivo sufrir el activo pensar, al dolor el amor, y hallaremos planos espirituales con sentido de ordenación creciente y de síntesis progresiva. La mística con su tendencia a Dios, la Ciencia con su esquematización hacia estructuras de abstracción y generalización ascendente. Réplicas inmatriciales a la tendencia entrópica al desorden, como la biología da la réplica a la física en el mundo de la materia.

Terminemos con este aliento consolador. Si la muerte repre-

senta la desorganización de la materia entregada desde tal momento a la ley entrópica que la sumerge en un caos, puede el alma liberarse de otro caos integrándose en regiones de orden eterno. En tanto, otras células recién formadas burlarán la termodinámica extrayendo del sepulcro inmaterial el orden mágico que estructurará nuevas vidas. Consolémonos, pues, mientras exista un cerebro que ame, que ore y piense ; mientras exista una semilla capaz de reproducir, germinando, el milagro de la creación.

HE DICHO.