d) Cómo desarrollar una cultura empresarial.

e) Cómo promover los cambios requeridos para facilitar y estimular a los nuevos empresarios y a las nuevas empresas.

3. ACCIONES

La evidencia internacional nos indica cómo se hace realmente para generar empleo: *formando empresarios y proveyendo las circunstancias adecuadas* para que ese empresario pueda actuar y ver germinar sus ideas. Para lograrlo necesitamos, entre muchas otras cosas:

a) Introducir en nuestras universidades, en forma clara y definida, los principios de la educación empresarial.

b) Capacitar adecuadamente a nuestros mejores recursos humanos, para que generen las "Gacelas colombianas" que tanta falta nos hacen y no seguirlos ilusionando falsamente con los "Elefantes" y los "Ratones".

c) Apoyar las instituciones orientadas al desarrollo de empresarios y a la creación de nuevas empresas.

d) Introducir, como lo está intentando el CDEE-ICESI, con el apoyo del Gobierno y de Fundaciones, el concepto del Espíritu Empresarial en el sistema de educación secundaria del departamento y del país.

e) Brindar capacitación a los maestros y profesores, para que puedan convertirse en promotores de esta actualización.

f) Apoyar en el resto del país eventos como los que está haciendo el CDEE-ICESI con el apoyo del Gobierno y Fundaciones, en Cali: Concurso Mejor Empresario Juvenil, Feria de Empresarios Juveniles, Concurso de Planes de Negocio; y crea otros como: Concurso al Mejor Empresario Universitario, Premio a la "Gacela" más rápida, etc.

g) Establecer una serie de estímulos y apoyo a los empresarios que crean empresas y empleos.

Realmente creo que sólo en la medida en que logremos que el Espíritu Empresarial se convierta en un valor cultural de los colombianos, veremos una luz hacia la solución definitiva de los problemas de desempleo y subempleo que por tantos años nos han estado afectando.

Todos tenemos un papel que jugar en esta campaña y hoy los quiero invitar a todos, a que asumamos nuestras responsabilidades, y nos dediquemos a sentar las bases para ese sueño de país que todos queremos.

4. BIBLIOGRAFÍA

* KIRCHOFF B.A. *Twenty years of job creation research: what have we learned.* X Latin American Congress an Entrepreneurship. Medellín 1996.
* BIRCH D. *Keynote speech at the 41th ICSB World Conference.* Estocolmo, 1996.
* NAISBITTS J. ABURDENE P., *Megatrends 2000.* William Morrow and Company, Inc., New York, 1990.
* VARELA R. *Innovación Empresarial.* ICESI, Cali, 1991.
* CASE J. *The age of the Gazelle.* The State of Small Business, 1996.
* BARNEVIK P. *Keynote speech at the 41th ICSB World Conference.* Estocolmo, 1996.

CLAUDE SHANNON: GENIO DE LA INFORMATICA

JAIME GRU UCHITEL

Ingeniero Eléctrico, Universidad de California, Berkeley, 1958. Magíster en Ingeniería Eléctrica, Universidad de Columbia, Nueva York, 1964. Ex Decano de la Facultad de Ingeniería Eléctrica, Univalle. Consultor en Electrónica Médica. Profesor de Electrónica en la Universidad del Valle y el ICESI. Director del Departamento de Ciencias Físicas y Tecnología, ICESI. Docente - Autor. Miembro de asociaciones profesionales.

Un día del año 1985 se celebraba en Brighton (Inglaterra) un simposio internacional sobre la Teoría de la Información y todo transcurría de manera normal. Una figura de complexión más bien delgada, alta y canosa, se movía nerviosamente en los pasillos. De pronto corrió la noticia de que Claude Shannon en persona se contaba entre los asistentes. La conmoción fue de tal magnitud como si, en palabras del profesor J. Mc Eliece, del Instituto Tecnológico de California (Caltech), "¡Newton se hubiera aparecido en una conferencia de Física!".

Los organizadores del encuentro le solicitaron entonces a Shannon que se dirigiera a la audiencia durante un banquete posterior. Esto era algo que nuestro personaje rehuía dada su timidez, característica bastante frecuente entre los genios. Finalmente accedió a pronunciar unas pocas palabras. Luego de unos minutos, y creyendo que estaba aburriendo a los asistentes, extrajo de su bolsillo tres bolas y comenzó a jugar con ellas lanzándolas al aire. De más está detallar la conmoción y risas que tal actuación produjo. Surgieron entonces los aplausos y se formó una cola para conseguir el autógrafo de la persona cuyo trabajo ha tenido el mayor impacto sobre la Teleinformática, o sea la ciencia que combina dos áreas claves del mundo moderno: el procesamiento y la comunicación de la información.

Nacido en 1916 en el estado de Michigan (EE.UU.), desde muy niño mostró precocidad y una enorme curiosidad que se manifestaban en la construcción de toda clase de juguetes mecánicos, radios elementales y en la solución de acertijos matemáticos, relacionados generalmente con maneras de codificar mensajes para evitar que su contenido fuese reconocido por otros.

Años después se graduó como Matemático e Ingeniero Electricista en la Universidad de su estado. Al conocimiento de esos dos campos atribuye Shannon el haber desarrollado posteriormente su tesis de posgrado en el MIT, con el título: "A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits", y considerada por muchos como la más trascendental tesis de Magíster del siglo XX. En ella se muestra cómo una clase de

Algebra, introducida a mediados del siglo pasado por el matemático inglés George Boole, puede emplearse en el análisis y diseño de cierto tipo de circuitos muy útiles en telefonía y en sistemas de control de procesos. Lo que no imaginó Shannon fue de qué forma sus ideas iban a influir de manera decisiva en el diseño y construcción de computadoras y otras máquinas procesadoras de información, revolucionando la tecnología del presente siglo. Con el fin de apreciar la contribución de nuestro personaje, se hará un bosquejo general introductorio sobre lo que muchos llaman a secas Algebra booleana. Recordemos los famosos silogismos analizados por filósofos griegos como Aristóteles y que eran del tipo:

Todos los seres humanos somos mortales.

NN es un ser humano.

Por consiguiente, NN es mortal.

George Boole, matemático autodidacto, llevó las cosas más lejos. Asignó variables algebraicas a las proposiciones lógicas de tipo declarativo; y empleó algunos símbolos sencillos para enlazar dos o más proposiciones y para las negaciones. Así por ejemplo, supongа que se asigna un valor de verdad X a la frase declarativa siguiente:

Todos los colombianos hablamos español.

Entonces, $\sim X$ o $\overline{X}$ significa que no todos los colombianos hablamos español.

Ahora si Y representa la proposición:

Todos los brasileños hablan portugués.

Entonces $X \wedge Y$ representará la frase:

Todos los colombianos hablamos español y todos los brasileños hablan portugués.

El símbolo $\wedge$ se conoce con el nombre de *intersección* y es equivalente a la conjunción *y*.

Otra operación booleana elemental es la *unión* de proposiciones mediante el símbolo *v*.

Entonces, y con referencia a nuestro ejemplo, la expresión booleana $X \vee Y$ expresa:

Todos los colombianos hablamos español o todos los brasileños hablan portugués, lo cual se interpreta como que la frase resultante es verdadera cuando cualquiera de las frases componentes o ambas son verdaderas.

Existe otra operación conectiva entre frases denominada *O Excluyente.* Suponga que un día domingo a las 2:00 p.m. un niño le manifiesta a su padre que quiere jugar e ir al cine, a lo cual éste le replica:

Te permito jugar o ir al cine.

Se trata claramente de hacer una de las dos cosas y no ambas. Sea que:

X = te permito jugar.

Y = te permito ir a cine.

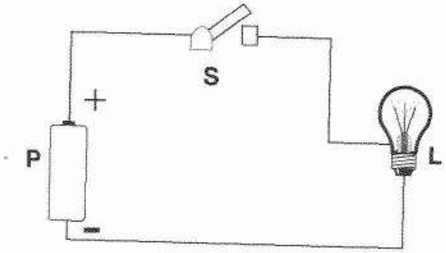
Entonces la expresión booleana es $X \oplus Y$ = te permito jugar o te permito ir al cine.

El símbolo $\oplus$ se denomina *O Excluyente* para diferenciarlo del símbolo Unión: *v*.

¿Pero qué relación existe entre este tipo de frases y los circuitos eléctricos? Aquí viene una de las genialidades de Shannon. Suponga que se tiene un circuito elemental compuesto por una pila *P* conectada en serie con un switche de palanca *S* y con una lámpara *L*. Debe ser claro que el switche *S* sólo puede estar en uno de dos estados: Cuando se halla abierto, no circulará ninguna corriente y por lo tanto la lámpara *L* permanecerá apagada. Pero al cerrar el switche, circulará corriente, lo cual hará que la luz brille.

Figura Nº 1

Circuito eléctrico elemental



Podemos deducir entonces que existen dos variables: *S* es la variable independiente; y *L* es la variable dependiente. Ahora si *L* representa la frase: la lámpara está encendida; y *S* la frase: el switche está cerrado, entonces la expresión:

$$L = S$$

se interpreta como que el estado de la lámpara depende del estado del switche. Así, cuando el switche se cierra, la lámpara *enciende*; y mientras *S* permanezca abierto, la lámpara permanecerá apagada.

Es interesante observar el carácter binario o doble de las variables booleanas. En efecto, una frase declarativa puede ser *cierta* o *falsa*. A la certidumbre se le asigna (por convención general) el valor de 1; mientras que a la falsedad se le asigna el valor de O. Ello permite elaborar de inmediato una "Tabla de Verdad", en la cual aparecen todas las combinaciones posibles de valores que relacionan las variables dependientes con las independientes.

Tabla Nº 1

S	L
0	0
1	1

Las figuras siguientes se han dibujado con símbolos que sustituyen a los elementos del dibujo No. 1. Así, en 2(a) se ilustran dos switches *A* y *B* conectados *en serie* con la pila y la lámpara: en 2(b) se muestran los switches *A* y *B* conectados *en paralelo*; en la figura 2(c) se ilustra la operación booleana de *negación.*

En la situación 2(a) sólo circulará corriente por el bombillo cuando tanto el switche *A* como el *B* se encuentren cerrados. Por lo tanto,

$L = A \wedge B$ L es igual a la intersección de *A* con *B*. Se lee: *L* igual a *A* y *B* (2).

Por otra parte, en la situación 2(b) los switches *A* y *B* aparecen en configuración de unión lógica; en efecto, se tendrá luz cuando *A* se cierre o cuando *B* se cierre, o cuando ambos estén cerrados. En forma booleana:

$L = A \vee B$ (*L* igual a *A* unión *B* o también, $L = A$ o B) (3)

En 2(c) aparece la negación. En efecto, mientras *A* permanezca abierto (estado O), la luz *L* se encontrará encendida (en estado 1); pero cuando el switche se cierra, la luz se apagará puesto que la corriente toma siempre el camino de menor resistencia. Entonces,

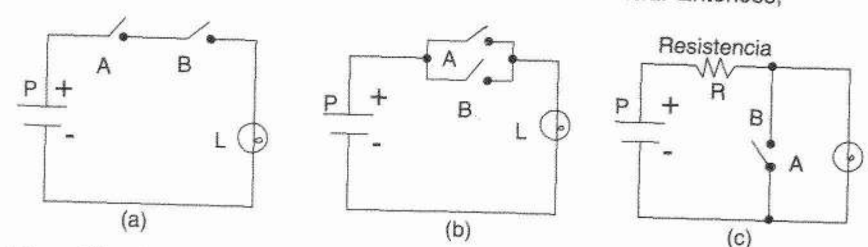


Figura Nº 2 (a) ilustra un circuito que muestra la función lógica *y;* 2(b) muestra la función lógica *o;* (c) ilustra la función *negación* (la resistencia *R* limita la descarga de la pila).

$L = \sim A$ o también: $L = \overline{A}$ (L = negación de A) (4)

Se dibujan a continuación las tablas de verdad correspondientes a las tres situaciones analizadas. Es importante que el lector las examine con cuidado, recordando que la convención generalmente empleada asigna un valor de 1 a un switche cerrado y a una lámpara encendida; mientras que el valor O se asigna al switche abierto y a la lámpara apagada.

Tabla 2A

A	B	L
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Tabla 2B

A	B	L
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Tabla 2C

A	L
0	1
1	0

Dado el caso de circuitos más complejos, se sigue un procedimiento similar al reseñado. Por lo general, a partir de una descripción verbal del problema, se elabora una tabla de verdad; de ella se extrae una expresión booleana, la cual usualmente requiere simplificación mediante postulados y teoremas de esa álgebra o mediante el empleo de métodos gráficos o tabulares.

En época de la Segunda Guerra Mundial (años 1939-1945), las válvulas electrónicas de vacío comenzaron a emplearse en la construcción de compuertas lógicas que efectuaban las operaciones booleanas que hemos estudiado, con módulos cuyos símbolos se ilustran en la Figura 3.

Es interesante examinar cómo se construye un circuito para sumar números en binario, mediante el empleo de compuertas lógicas. La aritmética que emplean los computadores se basa en la numeración binaria, la cual sólo utiliza dos dígitos: 0 y 1 y es, por consiguiente, mucho más simple de usar con circuitos electrónicos, los cuales conducen corriente (condición lógica 1); o bloquean el paso de corriente (condición lógica 0). La tabla de sumar binaria se expone a continuación:

Tabla 3

$0 + 0 = 0$

$0 + 1 = 1$

$1 + 0 = 1$

$1 + 1 = 0$

y lleva uno, o sea: 10, lo cual equivale al 2 decimal, puesto que el dígito menos significante (0 en este caso) representa unidades, o sea el lugar de las potencias de 2^0; mientras que el 1 es el coeficiente de las potencias de 2^1. En otras palabras, lo que se tiene es:

$$1\,0_2 = 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 = 2 + 0 = 2$$

De manera similar, el número binario 1101 equivale al decimal 13, como se verá ahora:

$$1101 = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 8 + 4 + 0 + 1 = 13$$

El circuito que vamos a diseñar se emplea para sumar los dígitos menos significantes, *Ao* y *Bo* de dos números binarios *A* y *B*. Suponga que *So* representa la suma y *C1* el posible acarreo que puede presentarse y que se lleva a la siguiente columna. Se construye entonces la tabla de verdad No. 4, en la cual las entradas o variables independientes son *Ao* y *Bo*; mientras que las salidas o variables dependientes son la suma *So* y el posible acarreo *C1*. Se emplea entonces la Tabla 3 para la suma binaria.

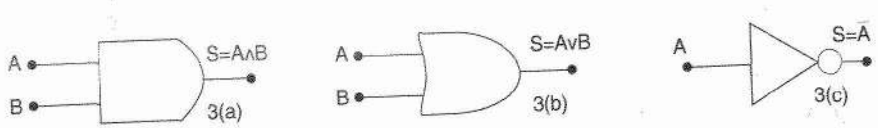


Figura 3 (a) Compuerta intersección; (b) Compuerta unión; (c) Compuerta negación.

Se mira entonces cuándo *So* vale 1. Se tiene que *So* vale 1 cuando: *Ao* vale 0 y *Bo* vale 1 o cuando *Ao* vale 1 y *Bo* vale 0. En otras palabras, la suma valdrá 1 cuando *Ao* sea diferente de *Bo*; esta es, en términos booleanos, la función lógica *O Excluyente* entre *Ao* y *Bo*. Entonces,

$$So = \overline{Ao} \wedge Bo + Ao \wedge \overline{Bo} \quad Ao \oplus Bo \ (5)$$

Mientras que $C1 = Ao \wedge Bo$

Tabla 4

Ao	Bo	So	C1
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

Se observa entonces en la Figura 4 cómo queda el circuito sumador construido con compuertas lógicas, las cuales se consiguen en cualquier almacén de artículos electrónicos. Un sistema tal como el que se acaba de dibujar se denomina "combinatorio". En estos circuitos las variables dependientes no son función del factor tiempo. Pero numerosos sistemas requieren el empleo de lo que se denomina "memoria", o sea la capacidad de almacenar resultados intermedios o finales. Estos sistemas se denominan "secuenciales". En ellos el factor tiempo juega un papel importante, puesto que el estado del sistema en cualquier instante depende no sólo de las señales que le lleguen en ese instante sino también de lo que le ha sucedido previamente. Los computadores son por antonomasia máquinas secuenciales cuyo funcionamiento está sometido a señales de reloj en forma de pulsos y cuentan con memorias amplias. Pero no es posible en un artículo de esta naturaleza entrar a detallar los sistemas que conforman un computador digital.

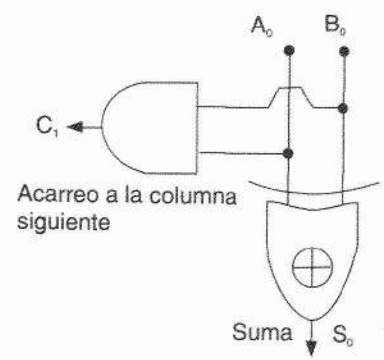


Figura 4 Circuito sumador para los dígitos menos significantes de dos números binarios.

Claude Shannon obtuvo el título de Ph.D. del MIT en 1940 con una tesis sobre las matemáticas de la transmisión genética. Estuvo luego en el Instituto de Estudios Avanzados de la Universidad de Princeton. Hacia 1941 fue contratado por los laboratorios de investigación de la Bell, habiendo participado activamente en un equipo que desarrolló sistemas de codificación de la información que los ejércitos aliados emplearon en la transmisión de mensajes cifrados durante la Segunda Guerra Mundial. Indudablemente este trabajo condujo al desarrollo posterior de la obra cumbre de nuestro personaje y que es la Teoría de la Información.

Como todos sabemos, el ruido puede llegar a dificultar o aun impedir las comunicaciones, dependiendo del grado de severidad. Es experiencia de todos que cuando se está en medio de un gentío, es necesario subir el volumen de la voz para hacernos escuchar, mientras que en un recinto silencioso es posible percibir aun leves susurros. Se le ocurrió a Shannon que así como era posible emplear códigos para ocultar la información del enemigo, sería posible diseñar determinados esquemas para la transmisión de información protegiéndola del ruido, que es un fenómeno inevitable en el proceso de señales.

En todo sistema de comunicación se reconocen tres partes básicas: el transmisor, el receptor y el medio a través del cual viaja la información. Como medio de envío y recibo de información se utilizan comúnmente las ondas electromagnéticas que se propagan a la velocidad de la luz en el vacío y a velocidades menores a esa en medios tales como cables conductores. La información en sí misma puede ser una función continua de la variable tiempo, teniéndose así las señales *analógicas*; o adquirir valores de determinadas magnitudes a intervalos definidos, llamándose entonces señales *digitales*.

Está plenamente comprobado que las señales digitales facilitan procesos tales como la codificación, el almacenamiento, manejo y control de la información. Antes de continuar con la exposición del trabajo de Shannon, es necesario familiarizarse con algunos conceptos y cuestiones que tienen incidencia en el manejo de la información por dispositivos electrónicos.

Se define como **ruido** toda clase de perturbación ajena a la información que se desea comunicar pero que la interfiere de alguna manera. Los ruidos pueden ser generados por el hombre, por fenómenos naturales o ser intrínsecos al propio proceso de la comunicación. Los motores eléctricos, las luces fluorescentes, switches e interruptores de muchas clases generan ruido debido en general a los campos electromagnéticos parásitos que surgen cuando la corriente cambia bruscamente.

En cuanto a ruidos originados en la naturaleza, pueden mencionarse las tormentas eléctricas terrestres, las perturbaciones ocasionadas por las manchas solares y la radiación cósmica, así como también los ocasionados por la presencia de pequeñas cantidades de elementos radioactivos existentes en la tierra. Muchas de estas interferencias pueden eliminarse por filtros y por circuitos electrónicos especiales.

En los sistemas de comunicaciones se presentan también otros ruidos originados en forma diferente de los "naturales"; por ejemplo, interferencias ocasionadas por inducciones desde canales adyacentes al que lleva la información de nuestro interés. Este problema se combate en algunas instancias mediante el uso de blindajes de diseño especial.

Es interesante señalar que las fibras ópticas son inmunes a la mayoría de las perturbaciones que se han anotado. Esto, unido a su gran capacidad de transporte de información, explica el auge que viene teniendo la fibra óptica en comunicaciones.

Pero existe una clase de ruido que es inherente a los mismos dispositivos electrónicos que manejan la información y que es imposible eliminar, puesto que se debe a fluctuaciones en el movimiento térmico de los electrones dentro de los resistores, conductores, transistores, etc. Existen otros mecanismos generadores de ruido intrínseco, pero no nos extenderemos más sobre el tema.

Se conoce con el nombre de "ruido blanco" aquél cuyo espectro se compone de toda clase de ondas de diferentes frecuencias. Este es un concepto teórico y por lo tanto se recurre a las fuentes gaussianas de ruido blanco, las cuales existen en el mundo físico y reciben su nombre de la distribución probabilística de valores que contienen. Así, el ruido térmico de resistores y semiconductores es del tipo anotado.

Ondas: como se recordará de la Física, el movimiento ondulatorio es de común ocurrencia en la naturaleza y se presenta permanentemente, como en el caso de la luz, ondas de radio, de TV., ondas sonoras, vibraciones mecánicas, etc. Matemáticamente las ondas se expresan generalmente por funciones sinusoidales de la forma:

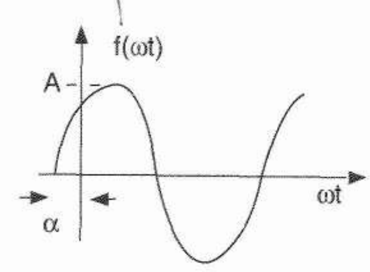


Figura 5 Onda sinusoidal

$$f(wt) = A \operatorname{Sen} (wt + \alpha) \qquad (6)$$

en la cual A es la amplitud máxima de la onda; w es la frecuencia angular en radianes por segundo e igual a $2 \times \pi \times f$, representado f el número de ondulaciones o ciclos por segundo (la frecuencia lineal); y α es un ángulo de fase inicial. En cuanto a la variable independiente, es el tiempo t.

El siglo pasado, el físico-matemático francés Joseph Fourier demostró que numerosos fenómenos físicos pueden expresarse matemáticamente en términos de una sumatoria de ondas seno y/o coseno. Así, la onda ilustrada en la Figura 6 tiene la siguiente representación en series de Fourier.

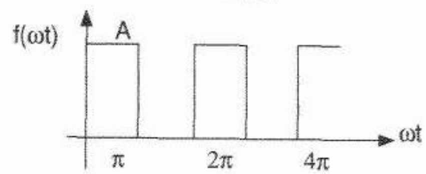


Figura 6. Se muestra un tren de pulsos y su representación matemática en serie de Fourier.

$$f(\omega t) = \frac{A}{2} + \frac{4}{\pi} \sum_{\eta=0}^{\infty} \frac{1}{2\eta+1} \operatorname{sen} (2\eta + 1)\omega t \qquad (7)$$

Se dice entonces que la onda de pulsos ilustrada está conformada por un espectro amplio de ondas de diferentes frecuencias. Este hecho se ha comprobado en los laboratorios de manera exhaustiva y que no admite discusión.

Por lo general el ruido producido por partículas atómicas no contiene una sola frecuencia, sino que comprende un espectro muy amplio de frecuencias. Ello hace que sea prácticamente imposible evitarlo del todo, puesto que no existen blindajes ni filtros que sean efectivos para todo el rango de frecuencias requerido.

Se denomina **relación Señal/Ruido** (S/N) a la fracción cuyo numerador representa la potencia desarrollada por una señal útil, mientras que el denominador es la potencia que desarrolla el ruido (*noise* en inglés). Esa fracción puede medirse en casi cualquier punto de un sistema de comunicación.

La frase **anchura de banda** tiene varios significados en Ingeniería Eléctrica. Cuando se habla de comunicación de datos se refiere a la mayor cantidad de información que puede fluir entre dos puntos por unidad de tiempo. En este contexto se mide en Megabits por segundo, o sea, en millones de dígitos binarios por segundo.

Teorema del Muestreo. La voz humana, los instrumentos musicales y la mayoría de las fuentes de señales generan funciones continuas en términos de tiempo. Se denominan entonces señales analógicas o análogas. En la Figura 7 se muestran tres funciones diferentes de tiempo.

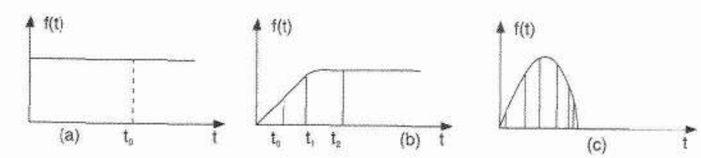


Figura 7. Tres funciones de tiempo diferentes y maneras posibles de tomarles muestras.

Una función de tiempo de amplitud constante como en 7(a) puede caracterizarse o especificarse completamente tomando una sola muestra en *t = to.* El caso (b) es más exigente, pues requiere quizá de tres muestras. Pero la onda en (c) es la más crítica de las tres, como puede entenderse intuitivamente, puesto que para representarla requiere de una gama mayor de valores que en los otros casos. De aquí sale que mientras más varíe una señal en función de tiempo es necesario tomar muestras un mayor número de veces en un intervalo de tiempo dado. Por consiguiente, a medida que una onda tenga mayor frecuencia, será más exigente en cuanto a representarla por muestras.

Las computadoras y un número de aparatos de comunicaciones cada vez mayor no operan con señales analógicas o continuas como las representadas en la Figura 6, sino con señales *discretas* o digitales. Entonces para procesar las señales analógicas del mundo físico se hace necesario *digitalizarlas.* El primer paso en esta transformación consiste en tomar muestras periódicas de la señal. Pero surge de inmediato la pregunta: ¿cada cuántos segundos? Como vimos en relación con la Figura 7, ello depende de la rapidez con la cual varíe la señal, o sea de la frecuencia que ella tenga. Puesto que según Fourier es posible representar esas señales por una superposición de ondas senoidales y/o cosenoidales, adivinamos intuitivamente que la frecuencia de muestreo está determinada por la componente significativa de frecuencia más alta de la señal (fm).

Entonces el famoso Teorema del Muestreo, erróneamente atribuido a Shannon (aun cuando él lo utilizó ampliamente en sus estudios y deducciones), indica que si una función de tiempo F(t) no contiene componentes significativos de frecuencias mayores que fm hertzios, puede especificarse completamente tomando valores de las ordenadas correspondientes a una serie de puntos espaciados como máximo 1/(2xfm) segundos entre sí.

Una de las aplicaciones más comunes de este teorema se presenta en tarjetas de sonido para microcomputadores. Por lo general, los amplificadores de audio trabajan en la banda de frecuencias comprendida entre unos 20 hertzios (ondulaciones por segundo) y 20.000 hertzios. Las frecuencias mayores de la onda sonora están un poco por encima de los 20.000 hertzios. Entonces, para obtener señales de sonido de alta calidad, se efectúa el muestreo a una tasa igual a 2 x fm, o sea a 44.000 hertzios (44 Kilohertz). Los valores muestreados se digitalizan entonces empleando para ello el sistema binario de numeración, ceros y unos, lo cual facilita en alto grado su procesamiento y transmisión, al contrario de lo que sucedería si se empleara el sistema decimal.

En 1928 el investigador R.V. Hartley de los laboratorios Bell sugirió que el acto mismo de enviar información involucra un proceso previo de selección. Esto es, en el sitio transmisor cada símbolo se selecciona de entre un conjunto de símbolos. Cualquier mensaje se obtiene entonces de una selección de símbolos y es, a su vez, una selección de entre todos los mensajes posibles. En otras palabras, si se pretende llegar a una medida de la cantidad de información que puede transmitirse por un canal, es necesario recurrir a las probabilidades. En el caso de un sistema binario, cuando existen N posibilidades todas con igual probabilidad de selección, la cantidad de información que lleva una de esas posibilidades vendrá dada por:

$I = \log_2 N$ dígitos binarios o bits (8)

Suponga por ejemplo la situación más simple como la de escoger como mensaje un "sí" o un "no". Pueden asignarse entonces valores binarios de 1 para el Si y de 0 para el no. Entonces, en este caso basta con: $\log_2 2 = 1$ bit para codificar y enviar tal mensaje. Ahora, si se desea ampliar el número de posibles mensajes a 4, se requerirá emplear 2 bits, los cuales pueden combinarse como: 00, 01, 10 y 11. Si se tienen 8 posibilidades igualmente probables, ello exigirá 3 bits y así sucesivamente.

De lo anotado se deduce que la cantidad de información que lleva un mensaje es igual *al menor número de bits requerido para codificar el mensaje.* Con 2 bits se pueden codificar 4 mensajes. Si todos ellos tienen igual probabilidad de ser transmitidos, entonces $P = 1/4$ y se necesitará luego un promedio de: $-\log_2 P = -\log_2 (1/4) = 2$ bits para transmitir un mensaje en tal situación.

Pero ¿cómo se plantearía el problema cuando las probabilidades de selección de los mensajes son diferentes?

Sea *P(Xi)* la probabilidad de selección de un mensaje *Xi.*

Entonces el contenido promedio de información por símbolo para la variable aleatoria *Xi* será:

$$I(Xi) = -\log P(Xi) \quad (9)$$

Según Shannon (1948), el contenido promedio de información por símbolo en una situación de selección probabilística para la variable *Xi* será entonces el valor medio o esperado H.

$$H = -\sum_{i=1}^{m} P(Xi) \log P(Xi) \quad (10)$$

Donde la sumatoria se efectúa sobre todas las posibilidades. Cuando la base de los logaritmos es 2 (caso más frecuente), la información se mide en bits por símbolo. En caso de que los logaritmos fuesen naturales, la cantidad de información se mediría en *nepits.*

Se dice que el gran matemático y uno de los padres de la computación, John von Neuman, le sugirió a Shannon el nombre de "entropía" a expresiones del tipo indicado en (10), debido al parecido entre tal resultado y el que se presenta en el campo de la Mecánica Estadística y la Termodinámica. En efecto, al analizar el comportamiento de sistemas tales como un gas en un recipiente, es físicamente imposible deducir las propiedades "macro" a partir de un análisis del comportamiento de cada una de las partículas. Es necesario emplear entonces estadísticas. Comúnmente se asimila entropía a una medida de desorden en sistemas físicos. Es común decir que la entropía del universo está aumentando.

Para ilustrar el uso de la expresión (10), suponga una fuente de 2 bits que debe transmitir mensajes referentes al clima en un lugar en donde predomina la luz solar, como en Cali. Imagine que se ha convenido la siguiente codificación para los mensajes:

Xi	P(Xi)	Codif.	Significado
A	1/8	00	tormenta
B	1/8	01	lluvia
C	¼	10	nublado
D	½	11	soleado

Entonces, en estas condiciones, la cantidad de información que lleva un mensaje transmitido dando cuenta de la situación climática, será:

$H = -\{(1/8) \times \log(1/8) + (1/8) \times \log(1/8) + (1/4) \times \log(1/4) + (1/2) \times \log(1/2)\}$
$= 14/8 = 1.75$ bits/símbolo

Es decir, que en este caso serían suficientes 1.75 bits por símbolo para transmitir un mensaje referente al clima y es menor a los 2 bits por símbolo cuando las probabilidades son iguales para cada situación climática. Ello se debe a que existe un evento (días soleados) con mayor probabilidad de ocurrencia que los demás. Si por ejemplo en Cali hubiera siempre días soleados, no se estaría comunicando nada nuevo reportando tal situación. Puede deducirse que *la cantidad de información que lleva un mensaje asociado con un determinado evento es menor mientras mayor sea la probabilidad de ocurrencia del evento y viceversa.* Por ejemplo, una sirena que emita un solo tono continuo sin variaciones conlleva menos información que otra cuyo tono cambie continuamente, lo cual puede indicar muchas cosas.

Es necesario en este punto aclarar que según Shannon, y desde un punto de vista puramente técnico, *el significado mismo del mensaje no interesa,* en el sentido de que el comparar mensajes que contengan los mismos símbolos demandará cada uno la misma cantidad de recursos técnicos que el otro, sin importar su significado.Igual gasto tecnológico implica transmitir 100 palabras sin sentido que 100 palabras que empleen los mismos símbolos y que sean de importancia para alguien, como un mensaje familiar.

La expresión inicial (10) fue la base de estudios posteriores tendientes a producir sistemas eficientes de codificación de mensajes con un mínimo de redundancia, efectuados por Fano, Huffman y por el mismo Shannon. Se habla entonces de memoria y de fuentes Markovianas. No es posible en un artículo introductorio como el presente entrar a tratar esos temas.

La codificación de 32 símbolos del alfabeto en el caso del inglés (26 letras y 6 para puntuación), y suponiendo iguales probabilidades, arroja 5 bits/símbolo; pero si se toman en consideración las frecuencias relativas de ocurrencia de los diferentes caracteres, se obtiene que la cantidad de información que lleva cada símbolo transmitido es de 4.25. Ello significa que las letras que aparecen con mayor frecuencia en el uso diario del idioma, o sea las que tienen una probabilidad más alta de aparición, tales como la *a*, la *s*, la *e*, etc., podrán codificarse con un menor número de bits que otras como la *q*, la *x*, o la *z*, que al tener menor posibilidad de ocurrencia podrán codificarse empleando un mayor número de bits. De este modo, y mediante una selección juiciosa, disminuye la necesidad de gastar energía, tiempo y recursos de comunicaciones en general, al reducir la cantidad promedio de bits por símbolo, mejorando así la eficiencia de la comunicación.

Puede vislumbrarse entonces cómo la Teoría de la Información se extiende a áreas tales como la codificación de mensajes para la seguridad de los mismos, así como al empleo de algoritmos eficientes para la compresión de su contenido. Esto se hace necesario en las comunicaciones modernas con el objeto de ahorrar tiempo en el envío de mensajes y de espacio de almacenamiento de los mismos. Se conoce que las imágenes en movimiento (vídeo) requieren de una enorme cantidad de bits y de recursos computacionales en general. Por ello están apareciendo continuamente procedimientos cada vez más eficaces y rápidos para comprimir y descomprimir las imágenes con la mayor velocidad posible y con la menor pérdida de información.

Como bien se sabe, la redundancia lleva en general a la confiabilidad. Así, para detectar errores en mensajes codificados en numeración binaria, se les introducen bits adicionales de control; pero ello al costo de aumentar el número de bits por símbolo. Esta clase de dilemas aparece frecuentemente en el campo de la codificación, pero la Teoría de la Información es de enorme valor para alcanzar un compromiso óptimo en cada caso.

Capacidad de transmisión de información en canales de comunicación. A fines de la década de los años veinte, en los laboratorios Bell, R.V. Hartley estableció que la cantidad de información en bits por segundo que puede transmitirse por un canal de comunicación está limitada tanto por la anchura de banda del canal como por la relación señal/ruido. La siguiente es una de las expresiones fundamentales de la Teoría de la Información:

$$C = (BW) \log_2(1 + S/N) \qquad (11)$$

Donde:

C = máxima capacidad de comunicación por un canal, en bits/segundo.

BW = anchura de banda del canal en hertzios.

S = potencia de la señal.

N = potencia del ruido.

Intuitivamente se aprecia que mientras mayor sea la anchura de banda disponible, mayor será la capacidad del canal; y que a medida que aumenta la cantidad o potencia del ruido, siempre y cuando permanezca constante la potencia S de la señal que se desea transmitir, la capacidad del canal se reducirá.

La expresión, en la forma mostrada, es válida estrictamente en presencia de ruido blanco gaussiano, excluyendo otras clases de ruido y es de gran importancia en comunicaciones. Muchos la denominan "el límite de Shannon" o segundo teorema de Shannon. Permite, entre otras cosas, comparar diferentes métodos empleados en lo que se denomina *modulación,* procedimiento necesario para la transmisión de información.

La Teoría de la Información se cita a menudo en contextos que poco o nada tienen que ver con sus principios y/o aplicaciones. Existen así numerosos artículos escritos sobre relaciones supuestas y aun reales entre campos tales como la Antropología, Filosofía, Arte, Religión, etc., e Información. Se dice que este campo, la Teoría de la Relatividad y el Principio de Incertidumbre de Heisenberg de la Mecánica Cuántica, han sido traídos, llevados y citados sin un conocimiento cabal de sus verdaderos alcances y limitaciones.

Toda su obra le ha valido a Claude Shannon numerosos premios y distinciones otorgados por diferentes países. Es poseedor de la medalla nacional de las ciencias de los Estados Unidos (1966); de la medalla de honor del Instituto de Ingenieros Electricistas y Electrónicos (IEEE) de los EE.UU.; del premio Kyoto, del Japón, equivalente al Nobel. Este último no se le ha adjudicado seguramente no por falta de méritos, sino porque su trabajo ha sido en los campos de las Matemáticas y las Comunicaciones, los cuales no se encuentran dentro de las categorías de adjudicación del codiciado galardón.

En la actualidad nuestro personaje se halla retirado del ejercicio profesional, dedicándose al cultivo de numerosos "hobbies", tales como el de coleccionar piezas de ajedrez; innumerables instrumentos musicales y dispositivos de toda clase que él mismo ha construido, como un ratón mecánico que encuentra el camino para salir de un laberinto. Uno de sus entretenimientos preferidos consiste en efectuar malabares con palos lanzados al aire. Incluso ha descubierto una expresión matemática asociada al juego. También es aficionado a la elaboración de modelos matemáticos para describir el comportamiento de las acciones en la bolsa de valores, afirmando que ha tenido relativo buen éxito en su empleo.

Esta es, en síntesis, una semblanza sobre la vida y obra de un personaje que, más que ningún otro, ha influido en el desarrollo que estamos disfrutando en las áreas de la Computación y de las Comunicaciones.

BIBLIOGRAFÍA

1. SHANNON, C.E., A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits, Trans. AIEE, Vol. 57, pp. 713-723, 1938.
2. SHANNON, C.E., WEAVER, W., The Mathematical Theory of Communication, The University of Illinois Press, 1963.
3. REZA, F.M. An Introduction to Information Theory, McGraw-Hill, 1961.
4. LATHI, B.P., Introducción a la Teoría y Sistemas de Comunicación, Limusa, S.A. 1974.
5. DORF, Richard C., The Electrical Engineering Handbook, CRC Press, 1993.

FIJACION DE CRITERIOS PARA LA IMPLEMENTACION DE UNA SOLUCION AL TRANSPORTE INTERMUNICIPAL DE PASAJEROS EN EL CORREDOR VIAL DEL SUR DE LA CIUDAD

JORGE ENRIQUE BUENO O.

Con el objeto de llevar a cabo el Proyecto de Centralización de Despacho de Vehículos y de Pasajeros del Transporte Intermunicipal, se constituyó por Escritura Pública 5512 del 15 de octubre de 1967, otorgada en la Notaría 2ª de Cali, la Sociedad Anónima denominada inicialmente Central de Transportes y posteriormente Centrales de Transportes S.A. con el propósito de procurar dar solución al problema de Transporte Masivo de Pasajeros por carretera mediante la construcción de Terminales de Transporte.

Los objetivos propuestos para la Terminal fueron:

SOCIOURBANISTICOS

a) Remodelación urbana y utilización más racional de terrenos en el centro de la ciudad ocupados por empresas de transporte intermunicipal.

b) Facilitar el ordenamiento urbano, vial y de tráfico en la ciudad.

CONTROL

a) Permitir el control de la actividad transportadora de pasajeros por carretera, por parte de las autoridades competentes.

- Control de rutas y horarios.
- Control del estado mecánico de los vehículos.
- Control del estado físico, síquico y de salud de los motoristas.
- Control de tarifas.

MEJORAMIENTO DEL NIVEL DE SERVICIO A LOS USUARIOS

a) Posibilidad de escoger la mejor opción en términos de empresa, horario, tipo de vehículo, modalidad, servicios adicionales especiales, etc.

b) Proveer de instalaciones adecuadas al usuario en materia de vigilancia, aseo, seguridad, mantenimiento y comodidad.

CREACION DE UN POLO DE DESARROLLO

a) Generación de actividades comerciales.

b) Generación de empleos directos e indirectos.

c) Servir de medio educativo.