

BIOQUÍMICA Y CIBERNÉTICA

Por: Alfredo Delgado Arredondo M.C.P., M.Sc.

Depto. de Bioquímica, Facultad de Medicina, Universidad Autónoma de Nuevo León.

Al profundizar el estudio de la bioquímica se queda uno sorprendido de la complejidad de los procesos químicos que tienen lugar en la más sencilla de las células. Junto con esa complejidad sorprende también la maravillosa armonía que existe entre todos esos procesos. En el estudio que se hace actualmente de la bioquímica, además de otros temas, se examinan los cambios de materia y de energía que se producen dentro de los seres vivos y aún cuando en forma fragmentaria se estudia algo de la transferencia de información guardada en sustancias químicas que tiene lugar en los seres vivos, esos datos se estudian desconectados unos de otros y sepultados entre una multitud de otros conocimientos en forma tal que no impactan al estudiante como deberían hacerlo.

Haciendo un símil, pudiéramos decir que al estudiar el funcionamiento de una orquesta sinfónica se dedicara casi todo el tiempo al estudio de cada uno de los instrumentos o a la ejecución de cada uno de los músicos en particular y no se enfatizara en lo absoluto la importancia que tiene la partitura y la función del director, quienes a fin de cuentas hacen que la orquesta funcione como un todo armónico, pues de otra manera cada músico pudiera estar ejecutando una obra diferente y la actuación del conjunto no sería agradable al oído.

La palabra concierto, que se aplica a la actuación de una orquesta, habla de la acción coordinada del conjunto de músicos.

Una cosa semejante sucede a nivel de todos los seres vivientes, ya sean estos células u organismos pluricelulares, no basta con que se verifiquen determinadas reacciones químicas dentro de ellos para que se manifieste en ellos el fenómeno que llamamos vida, sino que se requiere que dichas reacciones tengan lugar en el sitio, momento y proporción adecuados.

Si bien es imprescindible el estudio analítico de los componentes y las funciones de los seres vivos para tratar de comprender el fenómeno que llama-

mos vida, no podremos jamás llegar a esa meta por la vía exclusiva del análisis, entendido éste como el estudio de las partes, requiriéndose para alcanzar ese objetivo de un proceso de síntesis de los conocimientos.

Muchas observaciones, de las que más adelante presento algunas, me han hecho pensar que aun cuando los mecanismos que se presentan en la naturaleza son muy distintos de los utilizados por el hombre en las computadoras electrónicas, en el fondo los principios utilizados en ambos casos son los mismos.

Mi afición por las computadoras electrónicas, me ha hecho ver multitud de relaciones entre la forma de funcionamiento de ellas y la de los seres vivos. En esa similitud entre computadoras y seres vivos se encuentra, a mi modo de ver, la causa de la armonía que encontramos en ellos, sin la cual es imposible la vida.

Pudieramos decir que cualquier ser vivo lo es, precisamente, porque se comporta como una computadora, desde luego no electrónica sino bioquímica y que aun en el caso de la célula más sencilla, es muchísimo más compleja que las electrónicas que utiliza el hombre actual.

En este trabajo más que presentar mapas metabólicos integrados, que es parte del proceso de síntesis a que he hecho mención; me propongo revisar aun cuando sea en forma superficial, tomando en cuenta el espacio disponible, algunas de las similitudes entre seres vivos y computadoras y también revisar algunos de los mecanismos bioquímicos de manejo de información que permiten la coordinación y armonización de los procesos del ser vivo. Debo hacer notar en relación con los hechos que aquí menciono, seleccionados por ser del dominio común, que es en su enfoque y no en su contenido donde está la razón de ser del presente trabajo.

Conviene aclarar que a las computadoras, en Europa, se les suele llamar ordenadores, que me parece un término más adecuado, pues su función no se reduce sólo a efectuar cálculos o sea cálculos matemáticos sino a introducir orden

en el caos de datos y es en ese sentido en el que encuentro más relaciones entre ordenadores y seres vivos.

En las próximas páginas señalaré algunas características comunes a las computadoras electrónicas y a los seres vivos, definiendo sobre la marcha algunos términos empleados en el lenguaje del personal que se dedica a computadoras. Conviene señalar que éstas sirven tanto de ordenadores de datos, como de "cerebros" en equipos de control automático de procesos; recordemos a ese respecto el uso que se les da en los cohetes espaciales tripulados en los que se encargan, ya de controlar el gasto de combustible, ya de efectuar un suave alunizaje, ya de mantener a los sistemas de a bordo de la cápsula en las mejores condiciones de funcionamiento, etc.

En las computadoras (1,2,3) existe el equipo material o "máquina" o sea - lo que en lenguaje computacional se acostumbra llamar "hardware" o conjunto de partes mecánicas y electrónicas que forman el equipo.

Por separado se tiene el "software", de naturaleza intangible pues no es material, sino información compuesta por: programas, datos sobre los que trabajarán los programas, etc.

Haciendo una comparación, podríamos hasta cierto punto equiparar un receptor de radio, que es un objeto material, con el "hardware" de una computadora y los programas transmitidos por las estaciones de radio, captados por la antena, que son información, y por tanto no materiales, con el "software". Si encendemos el receptor pero no hubiera ninguna estación transmitiendo, el receptor no nos serviría para entretenernos.

Ni el "hardware" solo, aun energizado con corriente eléctrica, ni el "software" solo, pueden hacer que una computadora electrónica efectúe la operación más sencilla. Se requiere la superposición del "software" adecuado al

"hardware", además de la energía, para que la computadora pueda manifestar sus capacidades.

En los seres vivos podemos encontrar también ambas cosas; por ejemplo: el DNA nuclear correspondería a parte del "hardware"; pero el ordenamiento de los nucleótidos que lo forman, es exclusivamente "software" estando condicionada la información que lleve precisamente a dicha secuencia; p. ej.: la secuencia puede indicar como fabricar una enzima; pero los mismos nucleótidos puestos al azar, muy probablemente no indicarían como fabricar cosa alguna útil para el ser.

La cibernética es la ciencia que estudia el manejo y transferencia de información (4), particularmente en relación con el control y la automatización de procesos; viene del griego (5) "κυβερνήτης" que es el timonel de una barca y "κυβερνᾶω" que significa gobernar, dirigir, ser piloto ya que así como el timonel se basa en lo que sus ojos ven para guiar la barca, o sea que sus respuestas están condicionadas por la información que sus ojos reciben; la respuesta de cualquier sistema automático requiere de información que se le suministre (retroalimente) acerca del resultado del proceso automático; por ejemplo: el funcionamiento del compresor de un refrigerador está condicionado a la información que le presente el termostato sobre la temperatura que tenga la cámara donde se guardan los alimentos; si la temperatura es alta, funciona el compresor; en cuanto la temperatura baja al grado deseado, se detiene el compresor y no extrae más calor de la cámara de almacenamiento de alimentos.

De la misma palabra griega "κυβερνᾶω", a través de la palabra latina "gubernum", deriva la palabra gobierno, estrechamente relacionado con la cibernética, que estudia el control de cualquier proceso que se verifique en cualquier sistema, aun cuando ese sistema sea una nación y el proceso a controlar sea; por ejemplo: el estado de salud del pueblo.

La cibernética es, a mi modo de ver, el principio unificador que hace que los seres vivos se comporten como complejos sistemas automáticos, capaces de interactuar con su medio ambiente, adaptándose en lo posible a los cambios que éste sufra; siendo esta capacidad de adaptación a su ambiente una de sus características distintivas.

La cibernética presupone metas o propósitos a alcanzar; por ejemplo: en el caso del refrigerador, presupone que se desea mantener a los alimentos a una temperatura de $4^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}$. En el caso del gobierno de un país, la meta a alcanzar podría ser el obtener progreso y bienestar para el pueblo, etc.

La retroalimentación en un sistema puede ser positiva o negativa. En los procesos automáticos se utiliza principalmente la retroalimentación negativa; por ejemplo: en el caso del refrigerador, la retroalimentación negativa hace que al estar suficientemente fría la cámara en que se guardan los alimentos ya no se extraiga más calor de la misma; si la retroalimentación fuese positiva, se extraería más calor entre más fría se encontrara la cámara de los alimentos. La retroalimentación negativa permite la estabilización del proceso.

Se llama información todo lo que hace que una persona, animal o cosa sea distinta de cualquier otra persona, animal o cosa; aun si tenemos dos objetos idénticos; p. ej.: dos átomos, sus coordenadas espacio-temporales serán diferentes, pues si fueran iguales, serían la misma cosa.

La palabra información, viene del latín "informare" (6) que quiere decir - dar forma; p. ej.: no se le dió forma al Quijote sino hasta cuando Cervantes - lo plasmó en un escrito; ni existe la información correspondiente a una persona hasta que no se la concibe.

Podemos llamar datos a las partes que forman el conjunto de una información determinada, siendo ambiguo el término dato en cuanto a la cantidad de información que lleva, pudiendo variar ampliamente en ese sentido. También se -

acostumbra llamar datos en el lenguaje del personal de sistemas computacionales a la información sobre la que trabajará un programa.

Se llama dato de tipo binario el que se puede manifestar en solo dos formas; es decir: por la presencia o ausencia de alguna característica definida y determinada, que; p. ej.: igual puede ser un voltaje en el extremo de un cable, en el caso de una computadora electrónica; que la presencia o ausencia de un grupo polar en una molécula orgánica en el caso de la bioquímica.

La unidad de información binaria es el bit, palabra tomada del inglés en donde es una contracción de la frase "binary digit" (dígito binario). El bit puede encontrarse en solo dos estados, según esté o no presente la característica que le corresponde, que se suelen representar con los números 0 y 1.

Los seres vivos utilizan la información en sus sistemas cibernéticos para el control del uso de la materia y de la energía en sus procesos bioquímicos; p. ej.: para la reproducción celular, la información que lleva la célula progenitora determina que substancias se requieren y como deba utilizarse la energía para obtener ese propósito.

Se puede llamar programa al conjunto de instrucciones que seguidas una por una en un orden preestablecido conducen a un objetivo determinado.

Así como en una computadora electrónica se puede tener un programa, codificado en lenguaje binario, que se puede ejecutar al señalárselo adecuadamente a la máquina; una semilla de trigo contiene en su germen, codificada en su DNA, la información necesaria para producir una planta de trigo y basta con que pongamos esa semilla en las condiciones adecuadas de humedad, temperatura, etc., para que ese programa se ejecute. Por otro lado, así como se puede almacenar el programa de una computadora y no ejecutarlo en varios años, igualmente se puede almacenar el grano de trigo y no hacer que ejecute su programa hasta años después.

Llamamos sistema a toda aquella porción de materia que podamos separar de lo que lo rodea.

Los sistemas se pueden frecuentemente dividir en subsistemas; por ejemplo: - una persona es un complejo sistema bioquímico; cada una de las células de su organismo siendo aun un sistema bioquímico muy complejo; es a su vez un subsistema, - del sistema que es la persona; las mitocondrias de cada una de sus células son - subsistemas bioquímicos, del sistema célula, etc, etc.

La vida y salud del ser humano son la consecuencia de la acción integrada y armoniosa de cada uno de los subsistemas que lo componen. Bastará con que fallen alguno o algunos de esos subsistemas para que se produzca la enfermedad o muerte del ser; por ejemplo: basta con que las células beta de los islotes de Langerhans del páncreas no produzcan insulina, para que se produzca una diabetes grave.

Los organismos vivos son sistemas abiertos o sea sistemas que intercambian - materia, energía e información con el medio que los rodea.

En todo sistema cibernético debe haber dispositivos que permitan la captura o entrada de datos así como la salida de los mismos; por ejemplo: en una computadora electrónica dicha captura se puede hacer usando tarjetas perforadas o utilizando un teclado semejante al de una máquina de escribir, etc. La salida puede - ser por pantallas del tipo de las de televisión, impresoras, etc. Sin dispositivos de entrada y salida de información, ni la computadora podría comunicarse con el "mundo exterior", ni nadie pudiera comunicarse con ella, por lo que no podría ser utilizada.

En los sistemas biológicos existen también dispositivos de entrada y salida de información que permiten al sistema comunicarse e interactuar con el medio ambiente; por ejemplo: gracias a la existencia de osmoreceptores (dispositivos de - entrada o sensores) en la región hipotalámica anterior del encéfalo, en los animales superiores, se logra mantener constante la presión osmótica de su plasma, por

acción del lóbulo posterior de la hipófisis que secretando más o menos hormona - antidiurética (agente portador del mensaje) controla la salida de agua por los riñones (mecanismo modificador).

Todos los sistemas cibernéticos, o sea de control, son abiertos y deben tener:

- 1.- Una variable que hay que controlar.
- 2.- Un mecanismo que permita modificar la variable a controlar.
- 3.- Un elemento o dispositivo sensor o medidor de la variable a controlar conectado al asa de retroalimentación.
- 4.- Un asa de retroalimentación que proceda del elemento sensor y que proporcione información al mecanismo modificador.
- 5.- Una fuerza de energía.

Si volvemos al ejemplo del refrigerador, la energía la proporciona la corriente eléctrica. La variable a controlar, es la temperatura en la cámara de los alimentos. El mecanismo modificador de la variable, es el compresor que funciona con la electricidad. El elemento sensor, es el termostato puesto en el sitio donde están los alimentos. El asa de retroalimentación, es la conexión entre el termostato que "siente" la temperatura o sea el efecto del proceso automático y el interruptor del compresor.

Tomando un ejemplo bioquímico, la E. coli es capaz de sintetizar triptófano a partir de moléculas más pequeñas, si este aminoácido no está presente en el medio de cultivo, pero esa producción de triptófano está regulada automáticamente por el proceso llamado de represión por producto final.

En este ejemplo de proceso bioquímico automático, la energía la proporcionan las oxidaciones biológicas que sintetizan ATP; la variable a controlar es la cantidad de triptófano presente en el medio; el mecanismo modificador es el mecanismo responsable de la síntesis de las enzimas de la ruta biosintética del triptófano;

el elemento sensor es el aporrepresor que al combinarse con el triptófano forma do (correpresor) se va a activar y en esas condiciones el gen operador del operón para el triptófano se va a reprimir y el asa de refección estará constituida por la información que pasa el triptófano presente al mecanismo modificador para que, dejando de producir las enzimas necesarias para el propósito, no se sintetice más triptófano, si ya hay suficiente en el medio.

En este sitio conviene, al menos, mencionar los muy conocidos mecanismos de control de reacciones bioquímicas tales como: inducción de la síntesis enzimática, o represión de ésta, como vimos en el ejemplo inmediato anterior y la inhibición de la actividad enzimática o la activación de la misma, con todas sus variantes y mecanismos, temas que se estudian relativamente bien en los cursos de bioquímica y en vista del poco espacio de que dispongo solo diré: que se manejan desde el punto de vista cibernético siguiendo los caminos ya indicados.

Los sistemas cibernéticos biológicos pueden colocarse en diferentes niveles de acuerdo a su grado de complejidad pudiendo de acuerdo a ello situarse al nivel de los virus, de las bacterias, de los vegetales, de los animales, de los seres humanos y de las sociedades humanas; teniendo cada nivel características que, con frecuencia, no se encuentran en sistemas de niveles inferiores.

La información para ser manejada necesita estar codificada: dicha codificación se puede hacer; por ejemplo: por medio de una clave binaria de voltajes dentro de la memoria de una computadora, en cuyo caso la información podrá estar contenida en una secuencia de bits. En los seres vivientes la codificación se puede hacer en una secuencia de nucleótidos de los ácidos nucleicos (como el DNA ó los RNA), o en la estructura de una molécula protéica como en muchos antígenos.

Para ser útil, la información necesita ser procesada; en el caso de una computadora electrónica, dicho procesado puede referirse a formar un archivo con los datos o a efectuar con determinados conjuntos de números algunas operaciones mate

máticas, etc. En un caso bioquímico el procesado de la información contenida en un determinado segmento de DNA, puede referirse a ser replicado o a ser pasado a una nueva clave formada por secuencia de aminoácidos por medio de la síntesis - protéica, etc.

En el caso de la computadora electrónica, el procesado de la información - contenida en la memoria auxiliar de la máquina (disco o cinta magnética que permiten almacenar grandes volúmenes de información) previo paso a la memoria directa de la misma, que tiene menor capacidad para el almacenaje de información - podrá tener lugar en la unidad central de proceso o "cerebro" de la máquina; en el ejemplo bioquímico, el procesado de la información contenida en los genes, - previo paso al RNA mensajero se efectúa sobre los ribosomas, en el curso de la biosíntesis de proteínas.

En las siguientes páginas señalo algunas situaciones en las que el manejo - de información codificada por medios químicos interviene en el funcionamiento de los seres vivos.

Encontramos información en todos los átomos, codificada en el número de protones de sus núcleos, que es el llamado número atómico. Esa información permite distinguir a unos elementos de otros, pues el número atómico es característico - de cada elemento; por ejemplo: el carbono tiene seis protones; el nitrógeno, siete; el oxígeno, ocho; etc.

Aun dentro de los átomos de un mismo elemento podemos encontrar información que hace que unos sean distintos de otros; dependiendo del número de neutrones - presentes en su núcleo, por ejemplo, podemos tener átomos de carbono que contiene 6 neutrones y el conjunto de ellos forma el isótopo llamado carbono doce, podemos encontrar átomos de carbono con ocho neutrones en su núcleo y esos átomos son del isótopo llamado carbono 14; la presencia de esos dos neutrones adicionales en el núcleo hace que éste sea inestable y presente el fenómeno de la desin-

tegración radiactiva, o sea que esa única y pequeña diferencia, en átomos por lo demás iguales, les confiere varias propiedades físicas diferentes, pues además - de la radioactividad, van a tener un diferente peso atómico, etc.

La información contenida en los átomos se manifiesta en las moléculas, a es te nivel aparecen nuevos factores portadores de información como son la clase, - número, secuencia y disposición espacial de los diferentes átomos que forman las moléculas dando lugar a la enorme variedad de sustancias químicas que se encuen tran en la naturaleza o que son producibles artificialmente por el hombre, inclu yendo todos los isómeros (compuestos formados por las mismas clases y núme ros de átomos) posibles de las mismas; cada una de esas sustancias tiene cuando menos alguna de sus propiedades físicas, químicas o biológicas diferentes de to das las demás sustancias existentes en el universo.

El desarrollo de los mamíferos se produce a partir de un óvulo fecundado o huevo. Es casi increíble como una célula única e indiferenciada como es el hue vo pueda luego dar lugar a los tipos tan variados y especializados de células - que formarán luego todos los diferentes tejidos.

Toda la información necesaria para la producción de tan variadas clases de células está, contenida en el huevo, solo que no toda se expresa en todas las cé lulas que de él provienen es decir que en cada célula se pone de manifiesto solo una pequeña parte de la información que será la misma en todas las células de un mismo tejido, pero que será diferente en células de diferentes tejidos y es pre cisamente ese hecho el que permite la diferenciación celular. Dicha información se encuentra en el núcleo celular codificada en el DNA que tiene toda la "parti tura" o programa para que las células puedan diferenciarse, teniendo también la información necesaria para que lo hagan en los momentos y sitios precisos.

Dicha información no se limita a la programación de los eventos que se pro ducen durante la época embrionaria o fetal del organismo sino que se encuentra -

allí igualmente la información necesaria para que, en su debida oportunidad, tengan lugar muchos sucesos que se verificarán mucho más tarde en la vida; por ejemplo: la época de la menarquia o menopausia en el caso de las mujeres, de la pubertad en los hombres; la época en que deberán presentarse las primeras canas e incluso hasta la época en que deberá envejecer y aun morir el ser de muerte "natural". Un caso interesante de información errónea en ese sentido, lo tenemos en la progeria en cuyo caso el organismo puede envejecer y morir de viejo a una edad que para otras personas sería infantil.

El curso correcto de la diferenciación puede alterarse al producirse cambios en la información que deban expresar las células o por cambios en la programación de la expresión. Tales alteraciones que dan lugar a la formación de monstruos o de seres defectuosos pueden ser ocasionadas por infecciones virales, como la rubéola o por agentes químicos como la talidomida, actuando durante ciertas fases del proceso de desarrollo embriológico.

La información no procesada al momento de su expresión queda almacenada en los núcleos de todas las células, como lo muestro en seguida.

Se han hecho experimentos de reproducción agámica (7,8) en los que núcleos de células somáticas (de intestino) de una rana adulta, se han puesto en el lugar del núcleo de un huevo de rana y se ha logrado que esos huevos, lleguen a desarrollarse como ranas completas, lo que demuestra que toda la información necesaria para la producción de un ser completo se encuentra en cada una de las células del individuo y que si no la expresan, no es porque la hayan perdido en el curso de la diferenciación celular que acompaña al desarrollo del ser.

Dicha reproducción agámica permitiría, si supieramos manejar (o "procesar") a voluntad esa información, obtener copias idénticas, de seres sobredotados que serían tan semejantes entre sí como lo son los gemelos idénticos, puesto que todos los núcleos de todas las células de un mismo ser llevan precisamente la misma in

formación. Dicho copiado se podría hacer inclusive con las células sobrevivientes a la muerte de la persona, con lo que se lograría perpetuar en cierta forma a dicha persona pues sus copias serían idénticas al original que las produjo.

Otra posibilidad está en que por un manejo correcto de la información contenida en las células de una persona amputada de una extremidad, ella pueda desarrollar un nuevo miembro en sustitución del faltante. Esto no es descabellado - si consideramos que animales inferiores como la salamandra pueden regenerar sus miembros si se les llegan a amputar (9) y que aun en el ser humano se puede regenerar una porción del hígado, en el caso de que se haya eliminado quirúrgicamente y tanto en el caso de la salamandra como en el del hígado humano, la porción regenerada no será ni más grande ni menor, ni diferente en su estructura que la porción que faltaba.

Estos hechos que al presente parecen de ciencia ficción tienen una base sólida y dependen en buena parte del desarrollo de la cibernética bioquímica.

Existen memorias que utilizan las computadoras de las que solo se puede sacar o, como se diría en la terminología técnica, "leer" información y en las que no se puede meter información o en lenguaje técnico "escribir"; dichas memorias se llaman ROM que son las iniciales en inglés de "Read only memory" o memoria sólo para lectura.

Del genoma (que es el conjunto de información genética codificada en el DNA nuclear) se puede "leer" información, pero no podemos aún, al menos con facilidad, "escribir" en él. Esto nos indica que el genoma se comporta como un ROM gigantesco.

En las membranas de las células de un determinado tejido hay sitios de reconocimiento en los que moléculas de carbohidratos, unidos a proteínas, son las portadoras de la información que hace que las células de un mismo tejido se reconozcan entre sí.

Moscona (10,11) sometió a trozos de riñón de embriones a un tratamiento con

tripsina que hizo que las diferentes células que forman al tejido renal (células de glomérulos, células de túbulo, etc.) se separaran unas de otras, quedando una suspensión homogénea de células. Agitando luego lentamente dicha suspensión en condiciones adecuadas, observó que las diferentes células que formaban la suspensión se reagrupaban entre sí, volviendo a reformar porciones de glomérulos y túbulo.

Lo opuesto, lo encontramos en el caso de los tumores malignos (cáncer) pues las células tumorales, perdiendo su capacidad de reconocerse o agruparse con células del mismo tipo (como sucede en las células normales que al asociarse forman los tejidos y órganos), se vuelven independientes y libremente se retiran de su sitio de origen, siendo transportadas luego por vía linfática o sanguínea a lugares alejados donde se establecen y reproducen formando lo que se llama metástasis del cáncer. Esta propiedad ayuda a distinguir si un tumor es benigno (células asociadas y confinadas a un sitio) o maligno (células que producen metástasis).

En el momento actual ya es del dominio común el conocimiento de que las características transmitidas hereditariamente de padres a hijos, se encuentran codificadas secuencialmente en los nucleótidos del DNA de los núcleos de las células sexuales (óvulo y espermatozoide) que al momento de la fecundación se unen para formar un huevo.

Dicha información, puede sufrir mutaciones por el efecto de las radiaciones ionizantes o agentes químicos. Esas mutaciones se seguirán pasando en el futuro de padres a hijos en forma hereditaria.

Es importante en este caso, ver como la información existente en una célula, viaja en el tiempo y en el espacio y va a encontrarse en células de otro ser que puede vivir muchos años o siglos después de que la célula que proporcionó la información haya muerto o sea que en este caso tenemos un movimiento trascendente

de información que lleva la memoria histórica de la especie y que, en cierta forma, revela la filogenia del ser en el que la encontramos, como sucede en el caso de las moléculas del citocromo "c" con las que se ha podido estudiar las relaciones de parentesco que existen entre diferentes seres vivos, tomando en cuenta la cantidad y clases de mutaciones que se encuentran en los citocromos "c" de diferentes especies animales y vegetales.

En el caso anterior, conviene hacer resaltar que el paso de información se hace de una célula a otra o sea que hay un movimiento transcelular de la información, a diferencia de lo que sucedería en una inducción enzimática en el cual la información se maneja solamente dentro de la célula.

Algunas mutaciones tienen por consecuencia producir los llamados "errores congénitos del metabolismo", tales como: el albinismo, la cistinuria, etc. En la actualidad se conocen más de 2500 ejemplos diferentes de este tipo de mutaciones en seres humanos.

Nuevamente aquí vemos la importancia de un manejo correcto de la información transportada por un material bioquímico, para permitir un funcionamiento bioquímico correcto del organismo.

En este campo se ha creado una nueva disciplina que es una rama muy especializada de la bioquímica y a la que se ha dado el nombre de ingeniería genética que como ustedes saben, ha logrado añadir la información faltante a un gen defectuoso, que la incorpora y puede utilizar. Es muy probable que en un futuro no muy lejano se puedan resolver permanentemente todos los problemas planteados por los errores congénitos del metabolismo, suministrando a las células del paciente, la información genética que en algún momento llegaron a perder o a confundir por efecto de una mutación.

En los seres vivos se encuentran muchos procesos que son sumamente específicos. La especificidad de un proceso, cuando es grande, nos indica que existe in-

formación muy precisa para el mismo y que ésta se maneja con mucha confiabilidad.

Sabiendo que en todos los casos, en los seres vivos, la información es codificada en sustancias químicas, vemos el alto grado de perfección que se logra - por ese medio para su manejo. En seguida paso a recordar algunos casos.

Tenemos en primer lugar la especificidad de la transmisión de las características genéticas, por la que los seres de una especie siempre dan origen a otros - de su misma especie, que como sabemos se debe a codificación en el DNA nuclear.

Otros procesos específicos son los enzimáticos. Utilizando enzimas se puede actuar, si así se lo desea, solamente sobre uno de los isómeros ópticos de un carbohidrato o de un aminoácido, dejando intacto a su enantiómero.

Esa especificidad se debe a que la información aportada por un isómero es diferente de la del otro. En este caso la diferencia depende de un solo bit pues - sería una sola característica la que se encontraría presente o ausente en la molécula, siendo todas las demás características de la misma iguales. La codificación de la información en las enzimas, como sabemos, se hace en las diferentes estructuras de las cadenas peptídicas que las forman.

Otro caso en el que podemos notar claramente el fenómeno de la especificidad lo tenemos en el campo de la inmunología en el cual, por la introducción parenteral de macromoléculas, genéricamente llamados antígenos, a un organismo superior, éste produce en respuesta una proteína que tiende a combinarse en forma específica con el antígeno, proteínas que genéricamente se han designado anticuerpos, que llevan la información específica codificada en sus cadenas peptídicas.

Una condición muy importante para que un antígeno funcione en un determinado organismo es que sea una molécula extraña al mismo.

Normalmente no se producen anticuerpos contra las moléculas propias del organismo, pues la información codificada químicamente que éstas llevan, es reconocida por los mecanismos inmunitarios que les permiten distinguir entre macromoléculas

propias y macromoléculas ajenas.

La respuesta inmunológica del organismo juega un papel importantísimo en los procesos de rechazo de los órganos o tejidos trasplantados o en las reacciones - que se presentan cuando se hace una transfusión de sangre de un tipo inadecuado - para quien lo recibe.

Los glóbulos rojos llevan antígenos de tipo sanguíneo, de los cuales los - - principales son el A el B y el O. Dichos antígenos (isoaglutinógenos) llevan la información codificada en glucoproteínas, en las que los monosacáridos fucosa, ma nosa y otros participan en forma importante.

En los tejidos a trasplantar, son los antígenos de histocompatibilidad los - que llevan la información correspondiente, codificada también en forma química.

Esas respuestas se pueden cambiar con el empleo de agentes inmunosupresores, tales como la 6-tioguanina, la azatioprina y hasta cierto punto los corticoste - roides suprarrenales, con el efecto de que la información que recibe el organismo, que determinaría una respuesta, sea incapaz de hacerlo en presencia del inmunosupre sor.

Es interesante señalar que los fenómenos inmunológicos suelen dejar huella y que existe por lo tanto una memoria inmunológica, por ejemplo, la reacción que se presenta cuando una persona es vacunada por primera vez contra la viruela, no se - presenta nuevamente cuando la volvamos a vacunar algunos años después, pues las - células de la persona ya tienen información codificada químicamente de ese contac to previo que hubo entre el virus de la vacuna y el organismo. El mismo fenómeno lo encontraríamos también en muchos otros casos.

En esta memoria inmunológica se basa la utilización de vacunas en la protec - ción contra enfermedades.

La información codificada en las proteínas de ese anticuerpo, puede ser trans ferida a otra persona que nunca haya estado expuesta al ataque por ese microorga -

nismo, por el simple expediente de pasarle a esa otra persona anticuerpos que ya - había fabricado una persona vacunada. Esos anticuerpos se encuentran en el suero de la persona vacunada por lo que el procedimiento se llama seroterapia. Y es un proceso de inmunización pasiva, pues la persona recibe la información ya preparada.

Tanto por la seroterapia, como por la vacunoterapia, se cambian las instrucciones del programa que el organismo tiene para defenderlo de antígenos ajenos, pues cambia su forma de reacción según esté o no vacunado.

En condiciones patológicas, se puede producir una confusión en los mecanismos inmunitarios, que al no poder distinguir entre moléculas propias y ajenas, atacan - indistintamente a ambas.

Tal caso lo encontramos en las enfermedades por autoinmunidad, ejemplos de - ellas tendríamos al parecer en la enfermedad de Hashimoto, en el lupus eritematoso diseminado, etc.

Otra situación patológica que se relaciona con una información erróneamente codificada, la tenemos en el caso de las alergias.

En estos casos, la exposición repetida al alergeno, produce un cambio en la - información que tiene el organismo con los resultados correspondientes alterados.

Otro ejemplo diferente de especificidad, lo tenemos en la actuación de las - hormonas, en algunas de ellas, como en las hormonas adrenocorticotrófica o las estimulantes alfa o beta de los melanocitos, angiotensina, gastrina, etc. (12) la - información codificada en diferentes segmentos consecutivos de su estructura polipeptídica, indica a que especie animal pertenecen, sus mecanismos de transporte, el tipo de receptores sobre los que actúan, sus acciones sobre los diferentes receptores y sobre los agentes potenciadores de sus efectos.

Hormonas de este tipo se dice que tienen una estructura sicnológica del griego (συχνος), a diferencia de muchas otras hormonas y proteínas de las que se dice

que tienen una estructura regnilógica (del griego $\rho\eta\gamma\upsilon\mu\iota$, desgarrar) que no traen codificados esos datos en segmentos consecutivos, requiriéndose de su plegamiento, que al formar sus estructuras secundaria y terciaria, hagan que esos segmentos queden con la proximidad adecuada; ejemplo de ello serían los residuos catalíticos y los de especificidad que tienen las enzimas y que no necesariamente deben estar unos a continuación de los otros, pudiendo estar dispersos en diferentes sitios de la estructura primaria de la proteína. En el caso de la organización regnilógica, la actividad biológica se pierde por desnaturalización de la proteína, no sucediendo así cuando se tiene una organización sicnológica.

Los órganos o las células sobre las que actúa una hormona determinada se llaman respectivamente órganos o células blanco.

Existen receptores celulares específicos en las membranas de las células blanco, que responden a la estimulación de la hormona correspondiente y a menos de que una célula determinada tenga el receptor para cierta hormona, esa hormona no podrá actuar sobre esa célula.

También en este caso, la especificidad se debe a la información que se encuentra codificada químicamente, tanto en las moléculas de la hormona, como en las moléculas de los receptores celulares para la misma.

Al estudiar el mecanismo de acción de los antibióticos, nos damos cuenta de que casi todos ellos actúan alterando la información de las bacterias sensibles a ellos, produciendo en esa forma su extinción; veamos algunos ejemplos, la penicilina (13), y otros, actúan inhibiendo la síntesis de la pared celular. Es como si en un momento determinado y por acción del antibiótico, las células bacterianas olvidaran como fabricar sus paredes celulares, lo que las deja en desventaja, pues es tan mucho más expuestas a la destrucción por cualquier cambio osmótico.

La estreptonigrina (14), la estreptozotocina (14) y otros, inhiben la síntesis del DNA y si recordamos que es el DNA el sustrato en el que va grabada la memoria de la especie, nos daremos cuenta, de inmediato, que estas sustancias actúan impidiendo

do la transmisión de la información, de unas células a otras para formar nuevos individuos de la misma especie.

La eritromicina (13), la lincomicina (13) y otros, inhiben la biosíntesis proteica. Como en el caso anterior, se pierde la capacidad de las células de expresar la información contenida en su memoria de la especie, o sea en su DNA y se anula su capacidad de adaptarse al medio y sobrevivir.

Las actinomicinas (13) y otros, inhiben la síntesis de RNA, que es el paso obligado para que la información, llevada en el DNA, pueda ser utilizada en la producción de enzimas y demás proteínas celulares.

Es muy interesante el efecto específico que tienen ciertos agentes tóxicos sobre tejidos o grupos celulares muy especiales, como sucede en el efecto que tiene la aloxana, para la destrucción inmediata de las células beta de los islotes de Langerhans del páncreas o el efecto que tienen las sales del talio sobre las células productoras de pelo. Con esas sustancias se puede lograr la destrucción selectiva de las células beta o de las productoras de pelo, sin daños importantes para el resto del organismo.

Que esas células son diferentes de las demás, lo demuestran las actividades tan especializadas que tienen y el hecho de que estas sustancias puedan actuar solamente sobre ellas, revela que hay sitios en esas células, que tienen información capaz de interactuar con la información que lleva el tóxico respectivo, que conduce a la destrucción o muerte de la célula.

Podría continuar citando a ustedes docenas de ejemplos, tomados de diferentes áreas de la bioquímica, para reforzar mi aserción que los seres vivos son computadoras bioquímicas y que en consecuencia, deberemos estudiarlos y tratarlos como tales. Debo sin embargo terminar, diciendo a Uds. que ante la multitud de problemas que aun esperan solución en el campo biológico, creo que un enfoque cibernético de la bioquímica tenga un efecto heurístico considerable; llegando a pensar -

que en un futuro más o menos distante, la bioquímica venga a ser solo un medio para el manejo de la cibernética biológica, como en la actualidad la electrónica lo es, en relación con el campo de las computadoras que usamos. Creo que debamos de tomar eso como objetivo y no considerarnos satisfechos mientras esa meta no se haya alcanzado, espero que la humanidad haya evolucionado en el interin, para que no -- haga un mal uso de las potencialidades que estos conocimientos le irán a dar.

Nunca fue mi intención exponer en una hora todas las posibilidades que plantea la cibernética bioquímica, pero si en alguno de ustedes he logrado despertar algún interés por este campo que, a mi modo de ver, es de gran importancia para el conocimiento integral de los seres vivos, mi propósito se habrá cumplido.

Para aquellos de ustedes que tengan interés en ello, les hago saber que estoy escribiendo un libro en el que trato este tema con mayor amplitud.

Concluyendo, pienso que por lo pronto debamos de formar en nuestros alumnos -- de bioquímica, tanto a nivel de pregrado como de postgrado, una conciencia que los -- haga pensar, ante cualquier fenómeno bioquímico, en las implicaciones cibernéticas que tal fenómeno pueda tener, pues de no hacerlo, les estaremos dando una visión in completa de los fenómenos vitales.

B I B L I O G R A F I A

- 1.- Flores, I. (1969) "Computer Organization" Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, N. J. p.1-133.
- 2.- Davis, G.B. (1973) "Computer Data Processing" 2nd. Ed. Mc. Graw-Hill - Kogakusha, LTD. Tokyo, p 1-603.
- 3.- Rude, P.A. and Page, J.A. (1974) "Introduction to Computers" Mc. Graw-Hill Book Co. New York, p 93-361.
- 4.- Parsegian, V.L. (1972) "This Cybernetic World of Men Machines and Earth - Systems" Doubleday and Co., Inc. Garden City, N.Y. p 16.
- 5.- Díaz de León, J. (1934) "Curso de Raíces Griegas", 3a. Ed. Antigua Librería de Murguía. México pp 103, 212.
- 6.- Menéndez, A. (1977) "Comunicación Social y Desarrollo", UNAM. México p 20.
- 7.- Gurdon, J.B. (1968) Scientific American, 219, 24-35.
- 8.- Gurdon, J.B. and Woodland (1968) Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Soc. 43, 233-267.
- 9.- Villee, C.A., (1974) "Biología" 6a. Ed. Interamericana, México pp 558-560.
- 10.- Moscona, A. (1961) Experimental Cell Research, 22, 455-475.
- 11.- Moscona, A.A. (1961) Scientific American, 205, 142-162.
- 12.- Schwyzer, R. (1977) Annals of the New York Acad. of Sci., 297, 18.
- 13.- Goodman, L.S. and Gilman, A. (1970) "The Pharmacological Basis of Therapeutics" 4th Ed. The Macmillan Co. New York pp 1210-1380.
- 14.- Bhuyan, B.K., et al (1972) Cancer Research, 32, 398.