

**CARACTERIZACIÓN DEL CUERPO HUMANO COMO UN SISTEMA NATURAL
DE APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR**

LINA MARCELA ESCOBAR DURANGO

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS
MAESTRÍA EN FÍSICA
PAMPLONA**

2015

1

**CARACTERIZACIÓN DEL CUERPO HUMANO COMO UN SISTEMA NATURAL
DE APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR**

LINA MARCELA ESCOBAR DURANGO

DIRECTOR

PhD. ARIEL REY BECERRA BECERRA

CODIRECTORA

M.Sc. CLAUDIA PATRICIA PARRA MEDINA

Trabajo de grado como requisito para optar el título de M.Sc. en Física

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS
MAESTRÍA EN FÍSICA
PAMPLONA**

2015

2

“Todo lo puedo en Cristo que me Fortalece”

Filipenses 4:13

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios.

Su suprema luz ilumina mis senderos y guía mi camino en todos los instantes.

A mi familia.

Mis padres por su constante apoyo y la motivación a ser perseverante,
a continuar pese a los buenos o malos momentos.

Quiero que este trabajo sea motivo de su total orgullo

y que sientan por sobre todas las cosas,

que todas sus enseñanzas no fueron en vano,

que hoy más que nunca,

me siento un ser afortunado

de haber tenido su guía en todos los momentos de mi vida.

A mi hermoso esposo por su paciencia y aliento siempre.

A mi Karitol y a Sofi por inspirarme a ser un buen ejemplo a seguir

y un mejor ser humano.

A mi Anymus y Marcelita,

sólo ellos saben la fortaleza interna

que me brindaron para emprender este proyecto

y sobre todo para superar la infinidad

de obstáculos que se presentaron en el camino.

Y finalmente lo dedico a mí,

por todo el proceso y la lucha constante,

la perseverancia y motivación, disciplina y empeño.

Me lo dedico porque lo merezco,

porque es fruto de mi ser, mi sentir, mi inspiración.

AGRADECIMIENTOS

Sin duda alguna este trabajo ha sido un reto personal y profesional para mí. Todo el proceso de elaboración y desarrollo del mismo fue la confrontación de situaciones que a lo largo de mi carrera se convirtieron en el soporte y el sustento, en las fuerzas para continuar adelante. “Nadie sabe con la sed que el otro vive”. Para muchos y muchas quizás fue más fácil juzgar todo el proceso desde la barrera, pero con profundo amor agradezco todas las críticas que se dieron a mis espaldas, porque esas fueron las que me motivaron a no desfallecer. Por mí y sólo por mí.

Dios, mi infinito apoyo e inspiración, sin su poder sobre mi nada soy.

Mi familia, mi hermosa mamá con su buena energía alentándome en los momentos más tormentosos. Mi papá motivador y siempre positivo. Mi moco, esa hermanita orgullosa que me hizo ser mejor día a día para ser un buen ejemplo. Mi Pedacita, Nena, Nelson sólo el preguntar - ¿cómo va todo? – hace la diferencia.

A mi Pasi siempre positivo y atento a ayudar en todo cuanto necesitara, levantándome y alentándome después de días duros sin ganas de continuar, por su perseverancia, por estar siempre allí, por su amor y paciencia en los tiempos difíciles.

A Nohorita, Mary “Mi Hada”, Cristian y Claudia, Lina Mireya, Laura, Darwin, Doña Esme, Don Juan, Orfis, Paola, Rocío y César siempre impulsándome a cumplir este sueño, a no desistir.

A la profesora Martha, su dedicación en la primera parte de todo este proceso fue clave y sobre todo su comprensión y apoyo en el momento más crucial.

A Cristina, ella quizás nunca sepa la dimensión de cómo sus palabras influyeron para darme fortaleza y continuar.

A mis estudiantes del Curso Biofísica Médica por sus aportes y grandiosa ayuda. Al profesor Ariel y Claudia, mis directores, su paciencia, su tiempo, sus aportes y sugerencias, el sinnúmero de enseñanzas que me entregaron no tienen precio ni manera alguna de ser remuneradas o retribuidas. Gracias por acogerme y acompañarme en esta dura fase final, eso ha hecho de mí un ser humano y una profesional diferente. Les expreso mi total admiración por su trabajo y agradezco la fortuna de contar con su valiosa amistad.

Gracias a todos y cada uno de ustedes y a quienes no incluí, porque directa o indirectamente fueron un aporte valioso y un estímulo constante para la culminación de este proceso. Este trabajo también les pertenece.

CONTENIDO

RESUMEN.....	15
INTRODUCCIÓN.....	16
CAPITULO I.....	19
1. EL PROBLEMA.....	19
1.1 TÍTULO.....	19
1.2 DESCRIPCION DEL PROBLEMA.....	19
1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	21
1.4 OBJETIVOS.....	22
1.4.1 Objetivo General.....	22
1.4.2 Objetivos Específicos.....	22
1.5 JUSTIFICACIÓN.....	23
CAPITULO II.....	25
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	25
2.1 ANTECEDENTES.....	25
2.1.1 La biofísica en las ciencias naturales.....	25
2.1.2 La naturaleza viviente e inanimada: la biofísica y los seres vivos.....	27
2.1.3 Propiedades de los sistemas.....	29
2.1.3.1 Tipos de sistemas, entorno y universo.....	30
2.1.3.2 Descripción de algunos conceptos importantes y de las funciones de estado termodinámicas.....	31
2.1.3.3 Estado estacionario.....	34
2.1.3.4 Descripción del organismo humano como sistema abierto.....	35

2.1.4 Métodos directos o indirectos para capturar y aprovechar la energía solar	40
2.1.4.1 Fuentes renovables.....	41
2.1.4.2 Fuentes no renovables.....	42
2.1.4.3 Fuentes convencionales	44
2.1.4.4 Fuentes no convencionales.....	44
2.2 ESTADO DEL ARTE	45
2.2.1 Interacciones entre las radiaciones ionizantes y la materia.....	45
2.2.1.1 Interacciones de las partículas cargadas con la materia.....	45
2.2.1.2 Interacciones de los fotones con la materia	45
2.2.1.3 Coeficientes de Atenuación.....	46
2.2.1.4 Capa de semiatenuación (CSA).....	48
2.2.2 Las interacciones elementales con los fotones	49
2.2.2.1 El efecto fotoeléctrico	49
2.2.2.2 Efecto Compton	53
2.2.3 Otros tipos de interacción.....	55
2.2.3.1 Dispersión de Thomson-Rayleigh	55
2.2.3.2 Dispersión de pares o materialización	55
2.2.3.3 Reacciones fotonucleares	56
2.2.4 Importancia relativa de las interacciones elementales	56
2.2.4.1 Importancia relativa de la absorción y la dispersión.....	57
2.2.5 Energía solar e interacción directa con el cuerpo humano.....	58
CAPITULO III	62
3. DISEÑO METODOLÓGICO.....	62

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	62
3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	63
3.2.1 Revisión del estado del arte	63
3.2.2 Identificación de componentes:	63
3.2.3 Análisis energético:	63
3.2.4 Comparación de los sistemas:	63
3.2.5 Análisis de resultados.....	63
3.3 DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	64
3.3.1 Sistema tecnológico de energía solar: Descripción del sistema	64
3.3.2 Componentes de un sistema tecnológico de aprovechamiento de la energía solar	65
3.3.2.1 Captación	65
3.3.2.2 Transporte interno	69
3.3.2.3 Regulación	70
3.3.2.4 Almacenamiento	73
3.3.2.5 Aprovechamiento y eficiencia.....	78
3.3.3 Sistema ser humano como sistema solar: Descripción	78
3.3.4 Componentes del sistema ser humano	80
3.3.4.1 Captación	80
3.3.4.2 Transporte interno	93
3.3.4.3 Regulación	93
3.3.4.4 Almacenamiento	98
3.3.4.5 Aprovechamiento y eficiencia.....	106
CAPITULO IV.....	131

4. RESULTADOS.....	131
4.1 Nivel de dependencia del ser humano del entorno solar	131
4.1.1 Caracterizacion de los niveles de dependencia	132
4.1.2 Diagramas de flujo de aprovechamiento de la energía solar y funciones análogas de los sistemas de energía solar tecnológicos y el ser humano	134
4.2 Importancia de la interacción indirecta de la energía solar con el ser humano 141	
4.3 Importancia del agua	142
CONCLUSIONES	143
RECOMENDACIONES.....	144

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Relación σ/ρ para el Efecto Compton	55
Tabla 2. Distribución de los tres efectos elementales según el número atómico Z de la diana y la energía E de los fotones incidentes	57
Tabla 3. Energía del fotón incidente y efecto predominante del Plomo	57
Tabla 4. Los macronutrientes, su energía suministrada y los volúmenes de oxígeno consumido y CO ₂ eliminado en su combustión	89
Tabla 5. Coeficientes de la actividad física	127
Tabla 6. Clasificación de actividades	127
Tabla 7. Factor de gasto energético	128
Tabla 8. Cuadro comparativo de las funciones análogas de los sistemas de energía solar tecnológicos y el ser humano	136

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Representación del estado estacionario	34
Figura 2. Atenuación de un haz de fotones.....	46
Figura 3. Variación del número de fotones que atraviesan una pantalla sin interacción en función del espesor de la misma	48
Figura 4. Efecto fotoeléctrico	49
Figura 5. Fotones de fluorescencia.....	50
Figura 6. Efecto Auger	51
Figura 7. Variaciones de τ/p en función de E para el agua y el plomo.....	52
Figura 8. Efecto Compton	53
Figura 9. Dirección de los electrones Compton y de los fotones de retroceso.....	54
Figura 10. Celda fotovoltaica.....	67
Figura 11. Colector solar con tubos evacuados	69
Figura 12. Regulador de carga.....	70
Figura 13. Sistema de control y regulación	72
Figura 14. Intercambiador	73
Figura 15. Batería	74
Figura 16. Acumulador.....	76
Figura 17. Energía total de los alimentos.....	91
Figura 18. Flujo de energía en la biosfera.....	92
Figura 19. Ciclo de Krebs.....	102
Figura 20. Interrelación entre la mitocondria y el citosol en la célula	105
Figura 21. Componentes del gasto energético para una actividad moderada	125
Figura 22. Niveles de dependencia del entorno solar	132
Figura 23. Diagrama de flujo de aprovechamiento de la energía solar por el ser humano.....	134
Figura 24. Ejemplo de flujo de energía solar para los sistemas tecnológicos	135
Figura 25. Ciclo de procesos biológicos de obtención de la energía a nivel celular	139

Figura 26. Flujo de energía para el organismo humano-procesos y porcentajes 140
Figura 27. Flujo de energía de los sistemas tecnológicos-procesos.....141

GLOSARIO Y ABREVIATURAS

ATP: Trifosfato de Adenosina

RUV: Radiaciones Ultra Violeta

UVA: Radiaciones Ultra Violeta tipo A

UVB: Radiaciones Ultra Violeta tipo B

UVC: Radiaciones Ultra Violeta tipo C

BMR: Basal Metabolic Rate, Tasa Metabólica Basal

RESUMEN

El organismo humano es una máquina compleja que utiliza la energía para su funcionalidad. En el presente trabajo se analiza el cuerpo humano como un sistema de aprovechamiento de la energía, se realiza un estudio bibliográfico sobre sus diferentes órganos, subsistemas y procesos que tienen que ver con la captación, transporte, almacenamiento y regulación de la misma, demostrando que de forma directa o indirecta la mayor parte de esta energía proviene del Sol. Se realiza una comparación aproximada del cuerpo humano en términos de su estructura general y su eficiencia con un sistema tecnológico de aprovechamiento de la energía solar y se encuentra su similitud orgánica y procesal. Se muestra que la vida del ser humano depende casi totalmente del entorno solar.

Palabras Claves: Energía del organismo humano, eficiencia del cuerpo humano, energía solar.

INTRODUCCIÓN

La energía es el combustible que el cuerpo humano necesita para vivir y ser productivo. Todos los procesos que se realizan en las células y en los tejidos producen y requieren energía para llevarse a cabo. Todos los seres vivos requieren energía para realizar los procesos vitales, como la nutrición, el movimiento y la reproducción. De forma particular, el ser humano utiliza la energía para muchos propósitos como: caminar, correr, moverse, respirar, crecer, madurar los tejidos, producir leche materna y mantener los tejidos sanos, entre otros. La energía necesaria para vivir se obtiene de los alimentos, los cuales a su vez se sintetizan en su origen aprovechando directa o indirectamente la energía del Sol. En términos generales, las necesidades de energía estarán satisfechas cuando el consumo de alimentos es el adecuado para mantener un buen desarrollo del cuerpo.

Dentro del cuerpo humano, los alimentos son transformados en sustancias nutritivas, este proceso produce energía que es la que utiliza el cuerpo para llevar a cabo sus funciones. Las células tienen diversas formas de obtener energía, pero raramente esa energía se utiliza directamente en los procesos celulares. Por esta razón, las células utilizan mecanismos y procesos que convierten energía de una forma a otra. Como la mayoría de mecanismos de conversión de energía evolucionaron muy temprano en la historia de la vida, entonces muchos aspectos del metabolismo energético tienden a ser similares en un amplio rango de organismos. La energía se define como la capacidad para hacer trabajo, que es cualquier cambio de estado o de movimiento de la materia. En el ser humano el *Adenosín Trifosfato o Trifosfato de Adenosina* **ATP** es la molécula que desempeña un papel central en el metabolismo energético celular porque conecta las reacciones exergónicas (procesos que liberan energía) con las endergónicas (procesos que requieren energía). El ATP transfiere energía al mover un grupo fosfato. La energía no puede crearse o destruirse, sólo se transforma (primera ley de la termodinámica),

pero la cantidad total de energía disponible para efectuar trabajo en un sistema aislado e irreversible disminuye con el tiempo (segunda ley de la termodinámica).

Los organismos vivos cumplen las leyes de la termodinámica porque, como sistemas abiertos, éstos utilizan la energía que obtienen para realizar trabajo.

A lo largo de la historia, la especie humana ha tenido una relación especial con el Sol. De hecho, no hay ningún aspecto en el entorno que no esté influenciado por el Sol. Desde la fotosíntesis hasta el estado de ánimo propio, están condicionados por dicho astro. No es de extrañar, pues, el papel central que juega la radiación solar en nuestra vida diaria.

Es importante conocer que el Sol emite diversos tipos de radiaciones con los cuales el ser humano puede tener interacción: rayos X, radiaciones ionizantes, luz visible, radiaciones infrarrojas y radiaciones ultravioleta (RUV) cuyo espectro se subdivide arbitrariamente en tres bandas de mayor a menor longitud de onda según su interacción: en ultravioleta tipo A - UVA, ultravioleta tipo B - UVB y ultravioleta tipo C -UVC.

Los rayos UVA comprenden la radiación solar menos nociva. La longitud de esta onda se encuentra entre los 320 y 400 ηm y la mayoría de estos rayos llega a la superficie terrestre. Los UVB, o los rayos de onda media (entre 280 y 320 ηm) también son absorbidos en gran parte por la capa de ozono, pero sin embargo alcanzan a llegar a la superficie terrestre. Los UVC, cuya longitud de onda oscila entre los 200 y 280 ηm , son absorbidos por la capa de ozono antes de llegar a la superficie terrestre y son potencialmente peligrosos para los seres humanos.

Desde el punto de vista fotobiológico, el espectro solar en la superficie terrestre (nivel del mar) está formado por radiaciones con longitudes de onda de energía

electromagnética comprendida entre 290 y 3000 ηm . Y debido a esta gran diversidad, en función de la interacción con el hombre en la práctica clínica se considera que el espectro solar está formado por: radiaciones ultravioleta (290 – 400 ηm), luz visible (400 – 760 ηm) y radiaciones infrarrojas (0,7 – 1000 μm) [1]. Aunque el Sol emite radiaciones de longitud de onda menores a 290 ηm , dichas radiaciones no llegan a la superficie terrestre debido a la selectiva absorción que sufren por parte de las moléculas de ozono y oxígeno molecular presentes en la estratosfera, por lo tanto, hay una radiación incidente de elevada energía que se ve atenuada por los componentes de la estratosfera, haciendo que la energía que se reciba sea menor a la inicial. La mayoría de los efectos perjudiciales para la salud, principalmente sobre la piel, se deben a la acción de la radiación ultravioleta. La luz visible y la radiación infrarroja son generalmente inocuas para el hombre. [2]

De una u otra manera esa interacción con la energía proveniente del Sol se define por el aprovechamiento directo (exposición a la radiación) o indirecto (energía tomada de los alimentos) que los seres humanos realizan. En términos generales, la energía directa es muy poca y está relacionada principalmente con la radiación directa que absorbe el organismo a través de la piel y otros transductores biológicos. Por otra parte, la energía que se puede aprovechar de manera indirecta es mayoritaria y se determina por el metabolismo energético de los seres humanos lo cual se define como el conjunto de procesos físicos y químicos del cuerpo que convierten o usan energía, tales como: la respiración, la circulación sanguínea, la regulación de la temperatura corporal, la contracción muscular, la digestión de alimentos y nutrientes, la eliminación de los desechos a través de la orina y de las heces, el funcionamiento del cerebro y los nervios; por lo tanto, es de suma importancia conocer estos procedimientos, porque juegan un papel fundamental en la regulación y utilización de la energía en el interior del cuerpo humano. En el presente documento se analizarán estos temas con detalle.

CAPITULO I

1. EL PROBLEMA

1.1 TÍTULO

Caracterización del cuerpo humano como un sistema natural de aprovechamiento de la energía solar.

1.2 DESCRIPCION DEL PROBLEMA

Es pertinente resaltar que en la descripción de la estructura general del ser humano como un sistema integrado, todo intento de definición se vuelve forzosamente parcial, esto debido a que este constituye un sistema de extrema complejidad.

A partir del estudio del conjunto de las transformaciones de energía que ocurren en el ser humano, y más particularmente la producción de calor y trabajo mecánico entendida como los procesos metabólicos ocurridos en el mismo, es posible obtener una buena descripción del mismo como un sistema abierto en estado estacionario, en el cual existe un intercambio de materia y energía con el medio exterior, manteniendo constantes sus propiedades, pese a este intercambio y a que genera un gasto de energía.

El hombre realiza todas sus transformaciones energéticas a expensas de varios procesos que globalmente pueden ser comparados con los sistemas convencionales de aprovechamiento de energía solar, en donde es posible identificar los elementos o componentes del mismo según su función principal.

A continuación se presenta, un sistema convencional (o ingenieril) de aprovechamiento de la energía solar.

En un sistema de energía solar convencional es posible analizar los parámetros para su evaluación y caracterización como son:

- ✓ Capacidad de almacenamiento: es la capacidad que tiene el sistema de mantener una reserva energética, la cual luego puede ser liberada gradualmente, dependiendo de la necesidad energética del mismo.
- ✓ Tamaño: se refiere a la relación del volumen de los elementos almacenadores del sistema con la energía almacenada.
- ✓ Temperatura: en muchos casos el almacenamiento de energía (sobre todo térmica) está relacionado directamente con la temperatura.
- ✓ Eficiencia: es la relación entre la energía recibida y la energía utilizada por el sistema.

El objetivo principal de este trabajo es reconocer dentro de estos parámetros, que es posible analizar al hombre a partir de sus subsistemas de recepción directa o indirecta, como sistema de almacenamiento y aprovechamiento de la energía solar, y verificar que aunque mucha energía no se aprovecha por la interacción directa, existe un alto porcentaje de dependencia del ser humano del entorno solar.

En este sentido, no cabe duda de que actualmente se dispone de un gran volumen de información muy valiosa tanto de las generalidades fisiológicas del ser humano como de los sistemas convencionales de energía solar. No obstante, a la fecha no se ha encontrado referencias que aporten un análisis íntegro del ser humano como un sistema de aprovechamiento de la energía solar y con este trabajo se pretende llamar la atención acerca de la importancia de nuestra interacción con el Sol y revisar en profundidad algunos de los conceptos que nos pueden poner en claridad

el hecho de que todos los procesos biológicos se llevan a cabo en función de esta interacción.

1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo se puede caracterizar el cuerpo humano como un sistema natural de aprovechamiento de la energía solar?

En la actualidad existe un auge en el reconocimiento y búsqueda de fuentes energéticas limpias para suplir las necesidades del entorno. Gracias a esto se han estudiado de manera masiva los sistemas de energía solar que generan una propuesta innovadora y práctica de aprovechamiento.

Es imperante reconocer que en todos los seres vivos existe una dependencia marcada del entorno solar para la realización de todos sus procesos vitales, y que estos últimos están delimitados por subsistemas que tienen funciones específicas para la ejecución de los mismos.

En virtud de esta situación aparecen los siguientes interrogantes referidos a la interacción de esta energía con el organismo humano: ¿Cómo los seres humanos reciben, almacenan y aprovechan la energía proveniente del Sol? ¿Cuáles son nuestras fuentes principales de obtención de esta energía? ¿Toda la energía que se reciben directamente por la interacción con la radiación es aprovechada? ¿Cuáles son los procesos mediante los cuales el cuerpo aprovecha esa energía? ¿Se almacena energía solar?

Ahora bien, existe un interrogante particular más significativo que fue el motivador de esta investigación y es el que inicia este apartado, reconociendo la importancia de los sistemas convencionales y de cómo el organismo humano puede tener un

comportamiento análogo en la descripción fisiológica de sus componentes y la transformaciones energéticas que lleva a cabo.

Con esta investigación se pretende caracterizar el comportamiento del ser humano como un sistema energético abierto en estado estacionario, y a partir de esto se analiza su rendimiento; como si fuese un sistema de aprovechamiento de energía solar. Dentro de esta descripción es necesario hacer una reseña del comportamiento de los sistemas de energía solar, para poder caracterizar al sistema cuerpo humano bajo este contexto.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Caracterizar el cuerpo humano como un sistema natural de aprovechamiento de la energía solar a partir de la identificación de los componentes que lo constituyen como tal y de realizar su balance energético en función de la dependencia del entorno solar.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Analizar el comportamiento del cuerpo humano como un sistema natural de aprovechamiento de energía solar.
- Identificar los subsistemas que juegan el papel de componentes de un sistema de aprovechamiento energía solar, como son el receptor, reguladores, componentes almacenadores y procesos de aprovechamiento.
- Establecer y medir las variables identificadas en estos subsistemas.

- Comparar este sistema con un sistema convencional de energía solar en términos de estructura general y eficiencia (esta última de forma aproximada debido a la complejidad del organismo humano).
- Analizar los resultados teóricos obtenidos.
- Socializar los resultados.

1.5 JUSTIFICACIÓN

El Sol es prácticamente una fuente inagotable de energía, la cual es utilizada por la mayor parte (por no decir todos) de los seres vivos que habitan en el planeta tierra. Más aún, el ser humano ha encontrado leyes y desarrollado tecnologías que le permiten aprovechar directamente esta energía.

En los últimos tiempos se han desarrollado sistemas de aprovechamiento de la energía solar como son la energía fotovoltaica, la energía solar térmica y otras. La energía fotovoltaica está en su etapa inicial de desarrollo y sólo se ha conseguido aprovechar un promedio del 10 % de la energía que llega del Sol. La energía solar térmica es más eficiente (más del 90%) que la fotovoltaica y tiene muchas aplicaciones.

Conocer a profundidad el consumo de energía y su procedencia puede ayudarnos a tener una visión más amplia sobre el funcionamiento del organismo humano y predecir su comportamiento. Específicamente el tema energético es un tema importante para cualquier sistema. Entrando ya a la era espacial, por ejemplo, resulta interesante indagar sobre el nivel de dependencia de los seres humanos del entorno en que viven actualmente y de acuerdo a los conocimientos sobre el tema

proponer nuevas alternativas que reemplacen la fuente (o fuentes) energética actual por otras fuentes; al fin y al cabo la energía es una sola, independientemente de dónde provenga. Desde otro punto de vista, al conocer mejor un sistema de aprovechamiento de la energía solar que se ha formado durante millones de años, como es el ser humano, es posible replicar procesos o metodologías en nuestra vida cotidiana para aprovechar de manera más eficiente la energía solar en la vida social del hombre. Con el presente trabajo se pretende caracterizar el sistema del cuerpo humano como un sistema de transformación y aprovechamiento de la energía y demostrar teóricamente que la mayor parte de esta energía proviene del Sol (directa o indirectamente). También puede ser de gran utilidad el resultado de esta investigación como punto de partida en el análisis del intercambio energético que tienen los organismos vivos y la interacción energética de la naturaleza como un sistema íntegro de aprovechamiento de la energía solar.

De acuerdo a la revisión del estado del arte en el tema a tratar, el estudio del uso de la energía solar por el organismo humano, de su rendimiento y su análisis como sistema de energía solar no ha sido objeto de intenso estudio e investigación, por lo tanto, esta investigación resulta interesante para la generación de conocimiento, y tiene una connotación innovadora desde el punto de vista de la biofísica y el estudio comparativo del comportamiento energético de los sistemas complejos. Esto puede ser importante para tener un concepto más claro y amplio sobre el ciclo energético de los organismos vivos y, particularmente, el organismo humano, y el papel que juega la energía proveniente del Sol en el funcionamiento de la vida.

CAPITULO II

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 ANTECEDENTES

2.1.1 La biofísica en las ciencias naturales

Es preciso comenzar por la definición de la física como la ciencia que estudia la estructura y propiedades de las formas concretas de la materia, es decir, de las sustancias y campos, y las formas de existencia de la materia, el espacio y el tiempo [3]. En esta definición no hay limitaciones entre la naturaleza viviente e inanimada. La definición expuesta no significa la reducción de todas las ciencias naturales a la física, pero de ella se deduce que las bases teóricas finales de cualquier dominio de las ciencias naturales tiene un carácter físico. Ahora sabiendo que estas bases ya están siendo aplicadas en la química, que estudia la estructura y los cambios de las capas electrónicas de los átomos y moléculas en su interacción y la química teórica actual está completamente basada en la mecánica cuántica y estadística y en la termodinámica y física cinética. [4]

Por otra parte la biología es la ciencia sobre la naturaleza viviente, la cual es mucho más compleja que la inerte. Por eso, los fundamentos de los fenómenos biológicos y sus leyes son un camino más largo por recorrer.

Partiendo de lo dicho la física biológica es definida, como la física de los fenómenos vitales, estudiados a todos los niveles, comenzando por las moléculas y las células, y terminando por la biosfera en su conjunto. Tal definición de la biofísica contradice su comprensión como un dominio auxiliar de la biología o fisiología. El contenido de la biofísica no está obligatoriamente ligado con la utilización de los aparatos físicos en el experimento biológico. El termómetro de medicina, el electrocardiógrafo, el microscopio, son aparatos físicos, pero los médicos o biólogos que utilizan estos

aparatos en general no se ocupan de la biofísica. Las investigaciones biológicas comienzan con el planteamiento físico del problema relacionado con la naturaleza viviente. Esto significa, que tal cuestión se formula a partir de las leyes generales de la física y de la estructura atómica molecular de la materia. [5]

La formulación de la cuestión biofísica por ahora es posible solamente en un limitado número de casos. La naturaleza viviente es tan compleja, que en la mayoría de los casos los conocimientos biológicos son insuficientes para realizar el tratamiento físico. Sin embargo, la biología se desarrolla impetuosamente y a su desarrollo actual va ligado inseparablemente el desarrollo de la biofísica.

La biofísica es la ciencia del siglo XX. De esto no se deduce que antes no se resolviesen tareas biofísicas. Maxwell construyó la teoría de la visión de colores. Helmholtz midió la velocidad de propagación del impulso del nervio [6]. Es muy grande el número de ejemplos de tal género. Sin embargo, sólo en la actualidad la biofísica ha pasado del estudio de las propiedades de los organismos y las interacciones físicas entre ellos (luz, sonido, electricidad) a los problemas fundamentales, a la investigación de la herencia y variabilidad, la autogénesis y filogénesis, el metabolismo y la bioenergética. Esto fue posible, precisamente, gracias al potente desarrollo de la biología y la bioquímica.

Los problemas de la biofísica son los mismos que los de la biología. Ellos consisten en el conocimiento de los fenómenos vitales. Siendo una parte de la física, la biofísica es inseparable de la biología. El biofísico debe poseer conocimientos físicos y biológicos. Para trabajar con éxito en el dominio de la biofísica es necesaria una comprensión general de la naturaleza viviente, determinada por el conocimiento de los fundamentos de zoología y botánica, fisiología y ecología. Frecuentemente el físico considera menospreciable las partes descriptivas de la biología. La necesidad de la zoología y la botánica es fundamental, sin Linneo no hubiese podido surgir la concepción de Darwin.

A pesar de las grandes dificultades, la biofísica actual consiguió importantes éxitos en el esclarecimiento de una serie de fenómenos biológicos. Se ha conocido mucho sobre la estructura y propiedades de las moléculas biológicas funcionales, sobre las propiedades y el mecanismo de acción de las estructuras celulares, tales como las membranas, organoides bioenergéticos, sistemas mecanoquímicos. Los modelos físico-matemáticos de los procesos biológicos se elaboran con éxito, incluso hasta de la ontogénesis y filogénesis. Se han realizado tratamientos teóricos generales sobre los fenómenos vitales basados en la termodinámica, teoría de información, teoría de la regulación automática. Con ello se puede ver que es posible comprender la biofísica como física de los fenómenos vitales partiendo de las leyes físicas apoyados en la descripción fisiológica. [5]

2.1.2 La naturaleza viviente e inanimada: la biofísica y los seres vivos

Los griegos consideraban a los seres vivos como creación de los dioses. Prometeo fue condenado al suplicio eterno por dar vida al hombre utilizando el fuego divino.

Esta leyenda no es tan descabellada como parece a primera vista, ya que si se observan algunos fenómenos que ocurren en los seres vivos y se comparan con aquellos propios de los seres inertes no existe mucha diferencia entre ellos. Por ejemplo mantener una llama requiere la presencia de oxígeno y lo mismo ocurre con el mantenimiento de las funciones vitales en todos los seres vivos. [7]

El organismo vivo está categorizado como un sistema heterogéneo abierto, autorregulable, autorreproductivo y desarrollable, cuyas sustancias funcionales más importantes son los biopolímeros, proteínas y ácidos nucleicos. El organismo es un sistema histórico, en el sentido de que es el resultado de un desarrollo evolutivo filogenético y él mismo recorre el camino de desarrollo autogenético desde el cigoto hasta la vejez y la muerte.

La física corriente de la naturaleza inerte no tiene relación con la historia. El electrón, átomo, molécula, se caracterizan por sus propiedades físicas constantes, independientemente de su origen. Naturalmente, la física corriente estudia los procesos cinéticos, dinámicos. Sin embargo, no examina la historia individual del cuerpo físico.

Lo dicho no significa que en la física de la naturaleza inanimada no existan problemas históricos. El mismo origen de la naturaleza viviente, su desarrollo evolutivo y el desarrollo individual de cada sujeto es parte del desarrollo del sistema solar, parte del desarrollo del universo en su conjunto, parte del desarrollo del sistema solar, parte del desarrollo de la tierra. Por consiguiente, tiene sentido el considerar la afinidad y la diferencia entre la biofísica de un lado y la cosmología, astrofísica y geofísica de otro lado. Tal examen es muy aleccionador ya que estos distintos dominios de la física pueden enriquecerse entre sí por un tratamiento único en la solución de las cuestiones históricas. [5]

De acuerdo a la concepción actual, la historia del universo comienza por un pequeño coágulo de plasma de enorme densidad. Aproximadamente $2 * 10^{10}$ años atrás este coágulo empezó a expansionarse de un modo explosivo. Con ello, de los fotones y neutrinos surgieron electrones y nucleones, y luego, a medida que se enfriaba el universo, los átomos ligeros y después los pesados. Por lo visto, la expansión del universo es continua e irreversible. La fuerza de la gravedad determinó el origen de las estrellas y las galaxias. Durante la enorme contracción gravitatoria de las estrellas la temperatura de éstas se eleva, incluso hasta originar procesos termonucleares. Estos procesos son los responsables de la evolución de las estrellas, de acontecimientos tan catastróficos como son los estallidos de las estrellas supernovas. El Sol es una estrella que se halla en un determinado estadio de evolución, la formación de los planetas es una consecuencia del desarrollo del sol. Según los datos actuales, la Tierra tiene cerca de $3,5 * 10^9$ años.

La cosmología y la astrofísica se fundamentan en la teoría de la relatividad y la física cuántica (nuclear), en la termodinámica y mecánica estadística. La evolución de las estrellas no está ligada con su “lucha por la existencia”, es decir, con la interacción del medio que las rodea y las relaciones concurrentes entre sí. Esto no es la evolución de Darwin. Por eso, parece ser que no hay nada común entre la biofísica y la astrofísica.

Sin embargo, existen dos momentos importantes comunes. Primeramente, tanto en la evolución del universo como en la evolución de la biosfera, ocurre la creación de una nueva información irreversible y continua. La nueva información se crea como resultado de la retención en la memoria de una elección aleatoria. Segundo, el desarrollo irreversible en ambos casos significa la existencia de inestabilidad. El nuevo estadio de evolución de las estrellas, planetas, biosfera, biogeocenosa, especies biológicas o de población, se origina como resultado de la inestabilidad de los estadios procedentes. Con ello el proceso de desarrollo es irreversible.

De tal modo, los enfoques teóricos, basados en la teoría de información y en el examen de la estabilidad de los sistemas dinámicos, por principio, son generales para la física de la naturaleza viviente e inerte. [7]

2.1.3 Propiedades de los sistemas

El punto de partida para la mayor parte de las consideraciones termodinámicas son las leyes de la termodinámica, que postulan que la energía puede ser intercambiada entre sistemas físicos en forma de calor o trabajo. También se postula la existencia de una magnitud llamada entropía, que puede ser definida para cualquier sistema. En la termodinámica se estudian y clasifican las interacciones entre diversos sistemas, lo que lleva a definir conceptos como sistema termodinámico y su contorno. Un sistema termodinámico se caracteriza por sus propiedades,

relacionadas entre sí mediante las ecuaciones de estado. Éstas se pueden combinar para expresar la energía interna y los potenciales termodinámicos, útiles para determinar las condiciones de equilibrio entre sistemas y los procesos espontáneos. Con estas herramientas, la termodinámica describe cómo los sistemas responden a los cambios en su entorno. Esto se puede aplicar a una amplia variedad de temas de ciencia e ingeniería, tales como motores, transiciones de fase reacciones químicas, fenómenos de transporte, agujeros negros así como los procesos biológicos. [8]

2.1.3.1 Tipos de sistemas, entorno y universo

Un sistema puede ser cualquier objeto, masa, región del espacio, etc., seleccionado para estudiarlo y aislarlo (mentalmente) de todo lo demás, que pasa a ser el entorno del sistema. El sistema y su entorno forman el universo. La distinción entre sistema y entorno es arbitraria: el sistema es lo que el observador ha escogido para estudiar. La envoltura imaginaria que encierra un sistema y lo separa del entorno se llama frontera del sistema y puede pensarse que tiene propiedades especiales que sirven para: a) aislar el sistema de su entorno o para b) permitir la interacción de un modo específico entre el sistema y su ambiente. [8]

Se pueden definir tres clases de sistemas:

- **Sistema abierto.** Es aquel que puede intercambiar materia y energía (o cualquiera de los dos) con el entorno. Ejemplo de este tipo de sistemas son los organismos vivos.
- **Sistema cerrado.** La termodinámica define el sistema cerrado como un sistema que permite la transferencia de energía pero no la de materia. Un ejemplo es una olla con agua hirviendo, cerrada con una tapa hermética.
- **Sistema aislado.** Es el que no permite la transferencia de materia ni de energía. Por ejemplo, el “termo ideal”, es decir, aquel que no permite que el líquido que está adentro se enfríe, ni salga sustancia de él. [9]

2.1.3.2 Descripción de algunos conceptos importantes y de las funciones de estado termodinámicas

- **Funciones de estado.** Una función de estado es aquella cuyo valor depende del estado del sistema y no de los caminos seguidos para la realización de las transformaciones.
- **Procesos reversibles e irreversibles.** Una transformación reversible es aquella en la cual el sistema pasa de un estado inicial *A* a uno final *B* y puede regresar a su estado inicial *A* pasando, en sentido contrario, por los mismos estados por los que pasó en la primera transformación, sin dejar ningún efecto fuera de él. Si las condiciones mencionadas no se cumplen entonces el proceso será irreversible.
- **Termoquímica.** Estudia las relaciones entre los procesos químicos y la producción o absorción de calor. Su estudio brinda las bases para comprender el metabolismo energético del organismo.
- **Ecuaciones termoquímicas.** Son expresiones especiales que permiten relacionar la cantidad de calor que se desprende o absorbe durante las transformaciones químicas que dependen de factores como la temperatura, presión estado de agregación de las sustancias, entre otros. [4]
- **Potencial químico.** El potencial químico de un sistema termodinámico es el cambio de energía que experimentaría el sistema si fuera introducida en éste una partícula adicional, manteniendo la entropía y el volumen constantes. Si un sistema contiene más de una especie de partículas, hay un potencial químico diferente asociado a cada especie, definido como el cambio en energía cuando el número de partículas de esa especie se incrementa en una unidad. El potencial químico es un parámetro fundamental en termodinámica y se asocia a la cantidad de materia. El potencial químico es particularmente importante cuando se estudian sistemas de partículas que reaccionan. [10]

- **Transformación Isotérmica.** Es aquella que se realiza a temperatura constante.
- **Transformaciones endergónicas y exergónicas.** Las endergónicas son la que suceden con un aumento de energía libre y las exergónicas con disminución.
- **Transformaciones endotérmicas y exotérmicas.** En la transformación endotérmica el sistema absorbe calor y en la exotérmica lo libera. [4]
- **Procesos espontáneos**
 - ✓ Proceso espontáneo: proceso donde los productos son termodinámicamente más estables que los reactivos. Algunos procesos son espontáneos bajo cualquier tipo de condiciones, otros son no espontáneos sin importar las condiciones. La mayoría de los procesos son espontáneos bajo ciertas condiciones. La termodinámica se usa para predecir condiciones bajo las cuales estos procesos son espontáneos. Todo proceso espontáneo tiene una dirección natural: la corrosión de un pedazo de metal, cuando se quema un papel, derretir hielo a temperatura ambiente.
 - ✓ Proceso no espontáneo: proceso donde los productos son termodinámicamente menos estables que los reactivos.
- **Entropía (S).** Es una medida de la capacidad de un sistema para efectuar trabajo útil. Cuando un sistema pierde capacidad para efectuar trabajo, aumenta su entropía. Es la medida del desorden de un sistema y permite predecir la evolución de un proceso y definirlo a partir de un criterio de espontaneidad. A mayor desorden, mayor entropía. Se mide en $\frac{J}{K}$. El concepto de entropía se puede entender en términos probabilísticos. Un estado ordenado (baja entropía) tiene una probabilidad muy pequeña, mientras que un estado con alto desorden (alta entropía) tendrá una probabilidad más alta. El cambio de la entropía ΔS de un sistema, cuando a un proceso reversible a temperatura constante se le añade o quita una cantidad de calor Q es

$$\Delta S = \frac{Q}{T} \quad (1)$$

La entropía es una función de estado. [11]

- **Energía interna (U).** Esta expresa el contenido energético de un sistema cerrado. Recibe este nombre porque depende exclusivamente del estado interno del sistema y es independiente de su posición y velocidad. Está caracterizada como la diferencia entre el calor absorbido y el trabajo realizado en una transformación al pasar de un estado A a otro B y es independiente del camino seguido por dicha transformación. [4]

$$\Delta U = Q - W \quad (2)$$

- **Entalpía (H).** Es una magnitud de estado que relaciona la variación de energía interna de un sistema y el trabajo de expansión.

$$\Delta H = \Delta U + P * \Delta V \quad (3)$$

- **Energía libre (G).** El concepto de entropía nos permite predecir la evolución de un proceso, pero en muchas transformaciones químicas con desprendimiento o absorción de calor este concepto no es útil. Entre estas transformaciones a presión y temperatura constante se encuentran las llevadas a cabo en el organismo, por esta razón el concepto de energía libre es muy útil para describir este tipo de procesos. La energía libre no es un tipo de energía contenido en el sistema, sino que es un índice de la capacidad del sistema para transformar, además de su energía interna, otras formas de energía en trabajo útil. La variación de energía libre se obtiene mediante la ecuación:

$$\Delta G = \Delta U + P * \Delta V - T * \Delta S \quad (4)$$

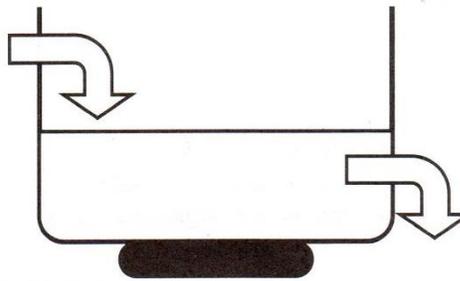
Si un sistema aumenta su energía libre se dice que hay una transformación endergónica, en caso contrario la transformación se llama exergónica. [7]

2.1.3.3 Estado estacionario

El organismo humano puede pensarse como un conjunto de compartimientos acuosos entre los que existe un flujo de materia y energía, lo cual también sucede al tener contacto con el exterior, por lo tanto, el sistema “organismo humano” es un sistema abierto.

Es posible ver un sistema sobre una superficie calefactora exactamente *regulada* para mantener la temperatura a 37°C (si pierde calor lo recuperará) y adosarle un sistema de canillas de llenado y vaciado *reguladas* que permitan mantener constante el volumen de agua, evitando un excesivo vaciado cuanto un excesivo llenado (**Figura 1**). La materia que llena el recipiente no será la misma a lo largo del tiempo, se irá renovando, aunque manteniendo constantes todas sus propiedades, inclusive la cantidad.

Figura 1. Representación del estado estacionario



(Fuente: Parisi, 2003)

Se tiene entonces un sistema abierto en *estado estacionario*. Pero se precisó una condición adicional para mantenerlo como tal: *un gasto de energía*, ya sea un gasto directo, para mantener temperatura y volumen, y otro indirecto, para regular los parámetros anteriores en los valores iniciales. *Un sistema abierto puede mantenerse en estado estacionario sólo si hay gasto de energía y materia.*

El sistema abierto organismo humano mantiene cierta cantidad de los parámetros que lo definen (por ejemplo temperatura corporal, pH sanguíneo, concentración de iones extracelulares, entre otros.) sin llegar al estado de equilibrio. Se puede decir que el sistema “ser humano” se encuentra en estado estacionario. Un sistema en estado estacionario mantiene constantes sus propiedades pese a la existencia de intercambios de materia y/o energía con el medio.

El mantenimiento de la constancia en las propiedades implica ahora un gasto de energía y el ser humano estará en estado estacionario mientras pueda hacer gasto de energía, es decir mientras tenga la posibilidad de realizar trabajo (ya que un gasto de energía implica la realización de un trabajo). [12]

2.1.3.4 Descripción del organismo humano como sistema abierto

Como ya se ha dicho, los sistemas vivos son, por principio, sistemas abiertos y, por lo tanto, no equilibrados. Uno de los primeros que comprendió esto, fue el biólogo soviético Bauer al escribir, que “... el estado no equilibrado de la naturaleza viva y, por consiguiente, su capacidad de trabajo que se conserva constantemente, están determinados por la estructura molecular de la materia viva y de fuente de trabajo, realizado por los sistemas vivos, sirve al fin y al cabo la energía libre, propia a esta estructura molecular a este estado de las moléculas”. El desarrollo posterior de la termodinámica de los sistemas abiertos aplicable a la biología, está ligado a los nombres de Bertalanffy y, principalmente, a Prigogine y su escuela.

El organismo es un sistema termodinámico abierto, en el cual se desarrollan las reacciones químicas. Las reacciones bioquímicas son catalíticas en todos los niveles, y de catalizadores sirven las proteínas-fermentos. El cambio de la entropía de tal sistema se expresa por la suma del cambio de la entropía, producida en el interior del sistema, dS_i y el cambio de entropía, procedente del exterior o que sale al medio exterior, dS_e

$$dS = dS_i + dS_e \quad (5)$$

$d_i S$ Siempre es positiva a consecuencia del segundo principio: si se coloca el organismo en una envoltura aislante, entonces $d_e S = 0$, y la entropía puede solamente crecer; $d_i S$ es la producción de entropía como resultado de las reacciones químicas internas. El signo $d_e S$ depende de la situación concreta. De la ecuación 1 se deduce la posibilidad de un estado estacionario, pero no equilibrado, del sistema abierto. En el estado estacionario las magnitudes termodinámicas que caracterizan al sistema son constantes, pero no tienen valores equilibrados. La entropía del sistema no es máxima. En el estado estacionario se tiene que:

$$dS = 0, \text{ es decir, } dS_e = -dS_i < 0 \quad (6)$$

En otras palabras, la ecuación 2 describe que la entropía producida sale completamente al medio externo.

Si se examina un sistema aislado, compuesto de un organismo y del medio que lo rodea. El organismo recibe alimento de este medio, oxígeno, agua y a la vez segrega en él distintas sustancias. Entre el organismo y el medio se realiza un intercambio de calor. En tales condiciones se encuentra, prácticamente, el cosmonauta en la nave cósmica. El organismo del cosmonauta es un sistema abierto en relación con la nave, que está muy bien aislada del espacio cósmico que le rodea. De acuerdo con el segundo principio, el cambio de la entropía de todo el sistema es positivo:

$$dS = dS_1 + dS_2 > 0 \quad (7)$$

Donde dS_1 y dS_2 son los cambios de entropía del cosmonauta con el medio que le rodea. Aquí se tiene que

$$dS_1 = dS_{i1} + dS_{e1} \quad (8)$$

El cambio de entropía dS_2 sólo se realiza como resultado del intercambio de sustancias y energía del medio con el cosmonauta, el medio que rodea al cosmonauta, prácticamente, no produce entropía.

Por consiguiente:

$$dS_2 = -dS_{e1} \text{ y } dS = dS_{i1} > 0 \quad (9)$$

Si el estado del cosmonauta es estacionario, entonces:

$$dS_1 = 0, dS_{e1} = -dS_{i1} < 0, dS_2 = dS = dS_{i1} > 0 \quad (10)$$

De este modo, el estado estacionario del cosmonauta se mantiene con el crecimiento de la entropía en el medio que le rodea, determinado por la entrada de entropía a este medio del organismo del cosmonauta, que compensa la producción de entropía en el organismo. En esto consiste el sentido de las palabras de Schrödinger: "el organismo se alimenta de entropía negativa". La entropía del medio crece, $dS_2 \gg 0$, a consecuencia del desprendimiento de calor por el cosmonauta y a consecuencia de que la entropía de las sustancias, segregadas por el cosmonauta, es superior a la entropía de las sustancias que consume. El estado estacionario del cosmonauta se conservará hasta que no se consuman las sustancias alimenticias en el medio que le rodea o hasta que, el proceso irreversible en el organismo del cosmonauta no le conduzca a su cambio (envejecimiento). El estado estacionario puede ser prolongado pero no eterno. Su realización se determina por la existencia de dos escalas de tiempo, la escala rápida para el tiempo del intercambio de entropía con el medio ambiente, y la escala relativamente lenta

para el tiempo de consumación de las reservas de sustancias alimenticias y (o) el envejecimiento del organismo.

Si se examina un ejemplo más. Existen dos depósitos grandes de calor, que se encuentran a las temperaturas T_1 y T_2 unidos uno con otro por un conductor de calor delgado. En el conductor se establece una corriente constante de calor, cualquier tramo del conductor se encuentra en estado estacionario. Este estado se conserva hasta que no se cambien apreciablemente las temperaturas T_1 y T_2 , que se igualan lentamente. El tiempo de establecimiento del estado estacionario es mucho más pequeño que el tiempo de consecución del equilibrio final, cuando $T_1 = T_2$. Durante el cálculo del régimen estacionario en la escala de tiempo rápida las temperaturas T_1 y T_2 se consideran constantes, ellas varían en la escala del tiempo lenta.

La propia existencia de la biosfera se puede considerar como un proceso estacionario, que se realiza en el fondo de un proceso irreversible grandioso de enfriamiento del Sol.

El estado estacionario de un sistema abierto puede ser próximo o alejado del equilibrio, puede ser estable o no estable. A su vez, el estado no estacionario puede ser próximo o alejado del estacionario. Como se verá más adelante, la termodinámica de los sistemas abiertos, próximos o alejados del equilibrio, es distinta. Con ello, se introducen los conceptos cuantitativos rigurosos de proximidad o alejamiento. Toda una serie de hechos atestiguan que los sistemas biológicos están alejados del equilibrio. El desarrollo biológico sólo es posible en un sistema muy alejado del equilibrio.

De lo dicho no se deduce, sin embargo, la imposibilidad de utilizar la termodinámica de equilibrio en la consideración de cualesquiera fenómenos biológicos. Ocurren procesos vitales, dinámicos irreversibles en la estructura organizada, que cambia

lentamente o se queda prácticamente invariable. Esto es justo en todos los niveles de la estructura biológica, comenzando por el molecular.

Correspondientemente, al estudiar la estructura, se puede partir del equilibrio termodinámico condicional. Se puede representar a grandes rasgos el origen de la estructura biológica por dos estadios, por la biosíntesis de los elementos componentes (macromoléculas, células) y el montaje con ellos de un sistema organizado. El proceso de montaje se encuentra en alto grado bajo el control termodinámico, así en el nivel molecular el sistema tiende a un estado con un potencial químico mínimo. La termodinámica de equilibrio resulta ser una de las bases de la biofísica molecular.

Al mismo tiempo, es evidente que en la biología se encuentra un sistema muy complejo de fenómenos termodinámicos y cinéticos. La diferencia entre la termodinámica y la cinética se ilustra por la marcha de la reacción química. La reacción, por principio, es posible, sólo si va acompañada por un descenso de energía libre $\Delta G < 0$. Esto es necesario, pero sin embargo, todavía no es una condición suficiente para desarrollar la reacción. Si el estado inicial y final del sistema están separados por una barrera alta de activación, la constante k de la velocidad de la reacción, que depende exponencialmente de la altura de la barrera energética E_a , de acuerdo con la ley de Arrhenius, es:

$$k = A \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (11)$$

Donde A , es el factor preexponencial, R es la constante de los gases, T es la temperatura absoluta, que puede ser débilmente pequeña. Por eso, el estado no equilibrado se puede considerar, defendido por una alta barrera, como si fuese equilibrado. Sirve de ejemplo el gas explosivo, la mezcla de H_2 y O_2 , que explota con la activación de la reacción en cadena de la llama de una cerilla, pero que es estable, es decir, casi equilibrada en la ausencia de la activación.

La termodinámica no equilibrada resulta ser necesaria durante el tratamiento de los procesos dinámicos, ante todo, de los fenómenos de desarrollo.

La teoría de información está ligada directamente con la termodinámica. La variación de la cantidad de información del sistema, se considera como una comunicación, proporcional al cambio de entropía. Los aspectos informativos de la biofísica tienen un gran interés. La limitación heurística se explica por el significado de la cantidad de información (y, por lo tanto, de la entropía) al tratar los sistemas biológicos en desarrollo. Resulta ser necesario examinar la recepción de la información y la creación de una nueva información. Y uno y lo otro sólo es posible en condiciones de desequilibrio, de estado no está estacionario y de inestabilidad. En biología es importante no la cantidad de información, sino su calidad, su sentido y valor. [5]

2.1.4 Métodos directos o indirectos para capturar y aprovechar la energía solar

Desde la antigüedad el hombre ha buscado fuentes de energía para satisfacer sus necesidades básicas por ejemplo, el descubrimiento del fuego permitió el mantenimiento del calor corporal así como asar los alimentos. En la Edad Media se construían molinos de viento para moler el trigo, hasta la época moderna en la que se puede obtener energía eléctrica fisionando el átomo.

El hombre siempre ha estado en la constante búsqueda de fuentes de energía, razón por la cual se ha transformado en un ser energívoro (dependiente de la energía para vivir). En la actualidad, el hombre extrae la energía de diferentes fuentes a partir de métodos diversos.

En las últimas décadas las energías renovables han cobrado impulso a nivel mundial con un significativo impacto sobre el desarrollo sustentable de las naciones.

2.1.4.1 Fuentes renovables

Son las que la naturaleza las renueva con rapidez, y se puede obtener energía de forma continua. Incluye:

- **Energía hidráulica.** Es la energía que se obtiene de la caída del agua desde una altura a un nivel inferior lo que esto provoca el movimiento de ruedas hidráulicas o turbinas.
- **Energía mareomotriz.** Esta energía es proporcionada por las mareas la cual se aprovecha para producir electricidad. Esta es una energía muy limpia, pero plantea algunos problemas por resolver, sobre todo a la hora de construir grandes instalaciones, por el impacto visual y estructural sobre el paisaje costero, y un efecto negativo sobre la flora y la fauna.
- **Energía hidroeléctrica.** Es el aprovechamiento de la energía potencial acumulada en el agua para producir electricidad, es una forma clásica de obtener energía. Aproximadamente del 20% de la electricidad usada en el mundo viene de esta fuente. Es una energía no alternativa, porque se usa desde hace muchos años como una de las fuentes principales de electricidad. La energía hidroeléctrica que se puede obtener en una zona depende de los cauces de agua y desniveles que tenga.
- **Energía eólica.** Los molinos de viento se han usado desde hace muchos siglos para moler el grano, bombear agua, u otras tareas que necesitan energía. Actualmente, estos molinos de viento se usan para producir electricidad, sobre todo en áreas expuestas a vientos frecuentes.
- **Energía de biomasa.** Incluye la madera (el método directo es la quema, lo cual no es aconsejable como método de obtención de energía), plantas de crecimiento rápido, algas cultivadas, restos de animales, etc. La fuente

indirecta está constituida por la fermentación de la biomasa reciclable que libera gas metano y esta energía es procedente del Sol en último lugar.

- **Energía solar.** La cual procede del Sol y es una fuente directa o indirecta de casi toda la energía que se usa. El aprovechamiento directo de la energía del Sol se hace de diferentes formas:
 - ✓ Calentamiento directo de locales por el Sol.
 - ✓ Acumulación de calor, se hace con colectores o estructuras especiales colocándolas en lugares expuestos al Sol.
 - ✓ Generación de electricidad, ya sea por sistemas fotovoltaicos o a través de la energía solar térmica para convertir agua en vapor en dispositivos especiales. [13]

2.1.4.2 Fuentes no renovables

Son las que se encuentran en la Tierra y se agotan con su utilización, porque las cantidades son limitadas.

- **Energía nuclear.** Es la fuente energética de mayor poder, aunque no la más rentable. Sus dos principales problemas son:
 - Desechos radioactivos de larga vida y el alto desarrollo demoledor en caso de accidente.
- **Carbón.** Es una de las principales fuentes de energía. Procede de plantas que quedaron enterradas hace 300 millones de años. Es fácil de obtener y utilizar, pero al ritmo actual que se lleva, las reservas se agotarán para el 2300 aproximadamente. El carbón es el combustible fósil más abundante en el mundo. Se encuentra sobre todo en el Hemisferio Norte. Y los mayores depósitos de carbón están en América del Norte, Rusia y China. Hay distintos tipos de carbón los cuales son los siguientes: turba, lignito, hulla y antracita.

La minería del carbón y su combustión causan importantes problemas ambientales y tienen también consecuencias negativas para la salud humana.

- **Petróleo.** Es un líquido formado por una mezcla de hidrocarburos. En las refinerías se separan del petróleo distintos componentes como gasolina, gasoil, fueloil y asfaltos, que son usados como combustibles. También se separan otros productos de los que se obtienen plásticos, fertilizantes, pinturas, pesticidas, medicinas y fibras sintéticas. El petróleo se forma cuando grandes cantidades de microorganismos acuáticos mueren y son enterrados entre los sedimentos del fondo de los pantanos, en un ambiente muy pobre en oxígeno. Cuando estos sedimentos son cubiertos por otros que van formando estratos rocosos que los recubren, aumenta la presión y la temperatura y, en un proceso poco conocido, se forma el petróleo.
- **Gas natural.** Se extrae en las mismas zonas en donde se encuentra el petróleo o las bolsas de petróleo. Se encuentra en la parte superior de la bolsa petrolífera. Su uso principal es como combustible doméstico. El gas natural está formado por un pequeño grupo de hidrocarburos, fundamentalmente el metano con una pequeña cantidad de propano y butano. El propano y el butano se separan del metano y se usan como combustible para cocinar y calentar, distribuido en bombonas. El metano se usa como combustible tanto en viviendas como en industrias, y este es distribuido normalmente por conducciones de gas a presión. El gas se agotará en el 2150.
- **Electricidad.** Categoría de fenómenos físicos originados por la existencia de cargas eléctricas. Cuando una carga eléctrica se encuentra estacionaria, o estática, produce fuerzas eléctricas sobre las otras cargas situadas en su misma región del espacio; cuando está en movimiento, produce además efectos magnéticos. Las partículas pueden ser neutras, positivas o negativas. La electricidad se ocupa de las partículas cargadas positivamente, como los

protones, que se repelen mutuamente. En cambio, las partículas negativas y positivas se atraen entre sí. Este comportamiento puede resumirse diciendo que las cargas del mismo signo se repelen y las cargas de distinto signo se atraen. [3]

2.1.4.3 Fuentes convencionales

Son las que producen la mayor cantidad de energía útil de un país.

- **Energía nuclear.**
- **Combustibles gaseosos.** De los que se obtiene energía térmica.
- También incluye la **energía hidráulica**, el carbón y el petróleo.

2.1.4.4 Fuentes no convencionales

Son las que, por falta de avance tecnológico o por sus cuantiosos gastos de extracción y aprovechamiento, no producen mucha cantidad de energía útil.

- **Energía geotérmica.** Es aquella que se obtiene del calor natural interno de la Tierra y que puede ser extraída y utilizada a partir del agua, gases y vapores calientes, o a través de fluidos inyectados artificialmente. Su estructura se compone de tres partes: núcleo, manto y corteza.
- **Energía solar.**
- **Energía eólica.**
- **Biogás.** Esta palabra se aplica a la mezcla de gases que se obtienen a partir de la descomposición en un ambiente en el que no hay oxígeno de los residuos orgánicos, como los productos de desecho vegetales o el estiércol animal. [14]

2.2 ESTADO DEL ARTE

2.2.1 Interacciones entre las radiaciones ionizantes y la materia

La interacción entre una radiación y la materia se traduce en una transferencia de energía. Es necesario que se produzca una interacción para poder detectarla, de ahí la importancia de este concepto en el caso del diagnóstico por imagen. Igualmente una transferencia de energía es la primera etapa de la acción biológica de las radiaciones. Se estudiara sucesivamente la interacción de las partículas cargadas, la de los neutrones y finalmente, la de los protones.

2.2.1.1 Interacciones de las partículas cargadas con la materia

Una partícula cargada, por ejemplo un electrón, al pasar cerca de un átomo puede interactuar con uno de sus electrones o con el núcleo. La transferencia de energía se acompaña de una pérdida de energía cinética ΔE por parte de la partícula incidente. Esta energía es responsable del cambio de estado del átomo (por ejemplo, su ionización) y de la emisión eventual de radiación electromagnética, manteniendo constante el balance energético.

2.2.1.2 Interacciones de los fotones con la materia

Cuando un fotón choca con un blanco material, puede atravesarlo sin interactuar ni cambiar de dirección, pero también puede interactuar con sus átomos. En este caso, se transfiere parte de la energía del fotón a los componentes del blanco; otra parte, denominada dispersada se re-emite en forma de nuevos fotones. [15]

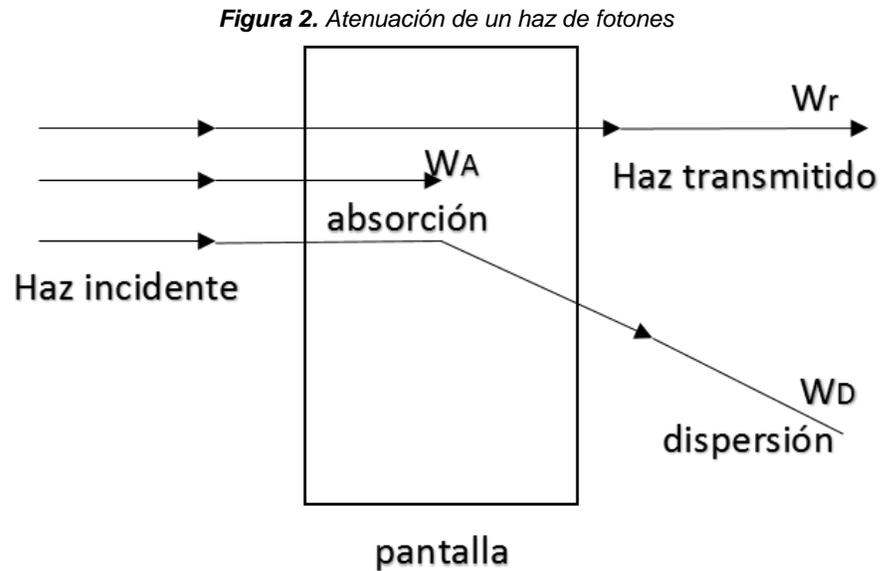
Por tanto, la energía total incide sobre un blanco de un haz de fotones monoenergéticos (W_I) se distribuye de tres modos: la energía transmitida W_T que

corresponde con la de los fotones que no han interactuado, la energía absorbida W_A y la energía dispersada W_D (**Figura 2**). La conservación de la energía implica:

$$W_I = W_T + W_A + W_D \quad (12)$$

La energía disipada por el haz al atravesar la pantalla es:

$$W_I - W_T = W_A + W_D \quad (13)$$



(Fuente: Aurengo y Petitcler, 2006)

2.2.1.3 Coeficientes de Atenuación

Si se nombra N_0 al número total de fotones monoenergéticos que inciden sobre una pantalla por unidad de superficie y $N(x)$ al número de fotones que han atravesado un espesor x del material que la forma sin ser absorbidos ni difundidos, fotones transmitidos, se puede demostrar para cada tipo determinado de material:

$$Nx = N_0 e^{-\mu x} \quad (14)$$

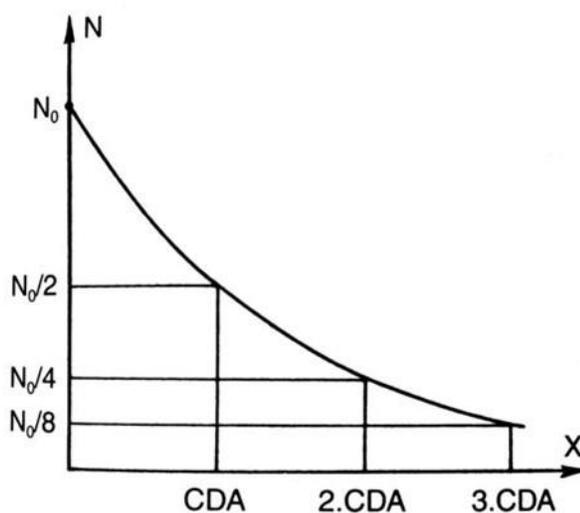
μ Es el coeficiente lineal de atenuación. Tiene dimensiones inversas de la longitud y se expresa en cm^{-1} , si x se mide en cm. Su magnitud depende de la naturaleza del material de la pantalla y de la energía de los fotones incidentes W_{10} . Si son monoenergéticos, la energía transmitida es proporcional al número de fotones y:

$$W_T = W_{10} e^{-\mu x} \quad (15)$$

Una diferencia esencial entre la radiación fotónica y la de la partícula vista anteriormente, deducida de la ecuación (14) y representada en la **Figura 3**, es la siguiente: es posible atenuar la radiación fotónica con pantallas, pero no eliminarla completamente. [4]

Se utiliza frecuentemente la relación entre el coeficiente lineal de atenuación dividido por la densidad del material, $\frac{\mu}{\rho}$. Esta relación, designada con la letra C y denominada **coeficiente másico de atenuación**, se expresa en $m^2 \cdot kg^{-1}$, en el sistema internacional (SI) y en $cm^2 \cdot g^{-1}$, en el sistema CGS.

Figura 3. Variación del número de fotones que atraviesan una pantalla sin interacción en función del espesor de la misma



(Fuente: Aurengo y Petitcler, 2006)

Las tablas suelen proporcionar los valores de C, por lo que no se debe olvidar que para obtener μ hay que multiplicar estos valores por ρ .

2.2.1.4 Capa de semiatenuación (CSA)

Se llama capa de semiatenuación (CSA) al espesor de la pantalla que reduce los fotones transmitidos a la mitad de los incidentes. Aplicando la ecuación (14)

$$N(\text{CSA}) = N_0 e^{-\mu \text{CSA}} = \frac{N_0}{2} \quad (16)$$

De donde:

$$\text{CSA} = \frac{\ln 2}{\mu} \cong \frac{0.693}{\mu} \quad (17)$$

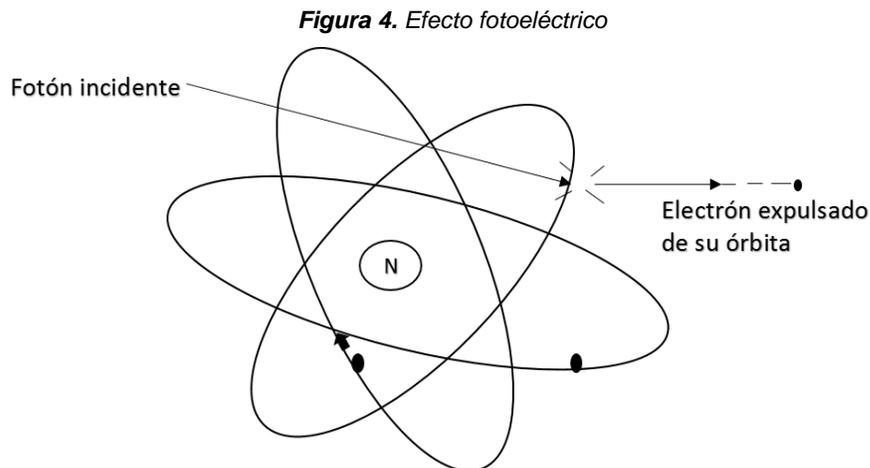
Teniendo en cuenta que $\left[\begin{smallmatrix} 1 \\ 2 \end{smallmatrix} \right] 10 \cong \frac{1}{1000}$, un espesor de pantalla de 10.CSA deja pasar 1 fotón por cada 1000 incidentes.

2.2.2 Las interacciones elementales con los fotones

Las interacciones de fotones con la materia se explican mediante cinco tipos de mecanismos, dos de ellos con un interés médico importante: el efecto fotoeléctrico y el efecto Compton.

2.2.2.1 El efecto fotoeléctrico

El efecto fotoeléctrico resulta de la transferencia completa de energía del fotón incidente a un electrón de uno de los átomos de diana (**Figura 4**).



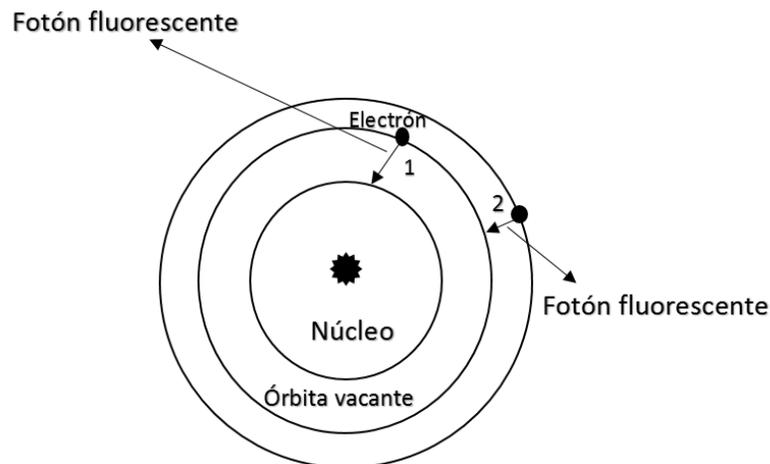
(Fuente: MacDonald/Burns, 1978)

Este efecto sólo se produce si la energía E del fotón es superior a la energía de enlace del electrón W_E . El electrón es expulsado de su órbita en el átomo con una energía cinética $W_C = W_E - E$. El electrón expulsado, denominado fotoelectrón, agota su energía cinética produciendo ionizaciones y excitaciones tal como se ha descrito anteriormente para este tipo de partículas ligeras. La energía es totalmente

absorbida en el material diana. El electrón expulsado deja un hueco en la capa correspondiente del átomo que va a ser ocupada por electrones de capas más externas del mismo o por un electrón externo del átomo. Este suceso se acompaña de una liberación de energía W_L . Si por ejemplo, el electrón expulsado es reemplazado por un electrón cuya energía de enlace vale W_Z , se tiene que $W_L = W_E - W_Z$. La energía W_L puede ser:

- Dispersada bajo la forma de un fotón, denominado fotón fluorescente (**Figura 5**).

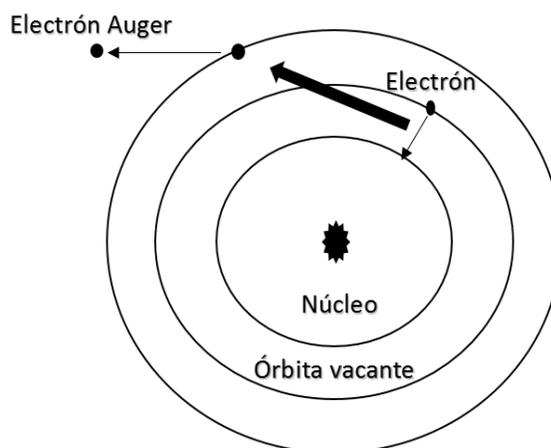
Figura 5. Fotones de fluorescencia



(Fuente: MacDonald/Burns, 1978)

- Comunicada a un electrón periférico de energía de enlace $W_P < W_L$. Este electrón conocido con el nombre de electrón Auger es expulsado con energía cinética $W_L - W_P$ (**Figura 6**). El efecto Auger entra en competición con la emisión de fotones fluorescentes. El efecto Auger es el predominante (hasta el 90% de los casos) para los elementos ligeros propios de los sistemas biológicos. [7]

Figura 6. Efecto Auger

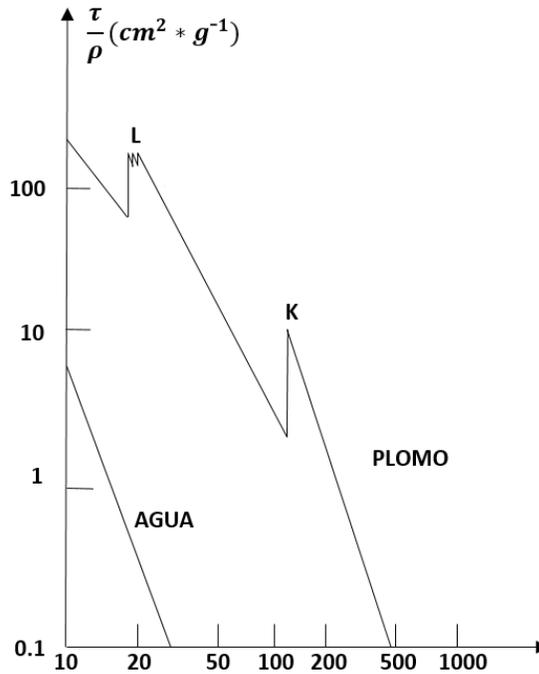


(Fuente: MacDonald/Burns, 1978)

En los dos casos (fotón fluorescente o efecto Auger), el electrón que reemplaza al expulsado por el fotón incidente deja a su vez un hueco en los orbitales que va a ser rellenado con la emisión de un fotón fluorescente o de un electrón Auger, y así sucesivamente. Al final del proceso, el átomo diana se encuentra ionizado en el caso de que ningún electrón exterior haya venido a rellenar el hueco electrónico vacío. Esta eventual ionización final representa una ganancia de energía W_I para el átomo diana (energía de ionización).

En el balance energético del efecto fotoeléctrico, una parte W_D de la energía E del fotón incidente se dispersa en forma de uno o varios fotones de fluorescencia y de eventuales fotones derivados de la interacción de los electrones expulsados de sus capas. Toda la energía residual ($E - W_D$) es absorbida. Al competir con los fotones fluorescentes, el efecto Auger aumenta la cantidad de energía absorbida, en detrimento de la dispersada.

Figura 7. Variaciones de τ/ρ en función de E para el agua y el plomo



((Fuente: Aurengo y Petricler, 2006))

Se puede definir un coeficiente de atenuación lineal ligado al efecto fotoeléctrico: τ . Por analogía con la ecuación (10), $e^{-\tau x}$ representa la fracción de fotones incidentes que no han experimentado una interacción de tipo fotoeléctrico al atravesar una pantalla de espesor x . Se puede demostrar que para un material de densidad ρ y de número atómico Z , el coeficiente de atenuación lineal fotoeléctrico τ para fotones de energía E sigue la relación aproximada de Bragg y Pierce:

$$\frac{\tau}{\rho} \cong k \frac{Z^3}{E^3} \quad (19)$$

Donde k es una constante que no depende del material atravesado.

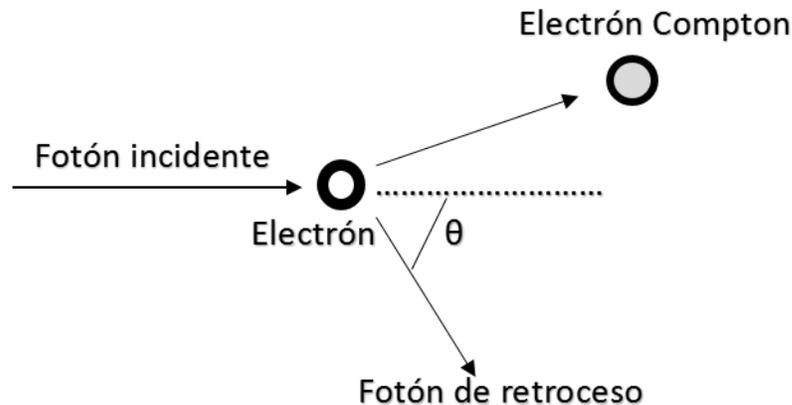
En realidad, las variaciones τ/ρ en función de E muestran discontinuidades (**Figura 7**) que corresponden a las energías de enlace de los electrones del blanco: cuando E sobrepasa la energía de una capa, puede interactuar por efecto fotoeléctrico

con los electrones de esta capa y τ aumenta drásticamente). Como $\frac{\tau}{\rho}$ decrece muy rápidamente con Z , el efecto fotoeléctrico tiene sobre todo importancia en el caso de los elementos pesados y de los fotones de baja energía.

2.2.2.2 Efecto Compton

El efecto Compton resulta de la interacción entre un fotón incidente de energía E y un electrón libre o débilmente unido al átomo diana, por lo que tanto la energía de enlace como la energía cinética son despreciables en comparación con E . En el curso de esta interacción, que puede ser descrita como una colisión, electrón, denominado electrón Compton, adquiere una energía cinética W_e , emitiéndose un fotón de dispersión, llamado fotón de retroceso, en una dirección que forma un ángulo θ con la dirección del fotón incidente (**Figura 8**).

Figura 8. Efecto Compton



(Fuente: Autor)

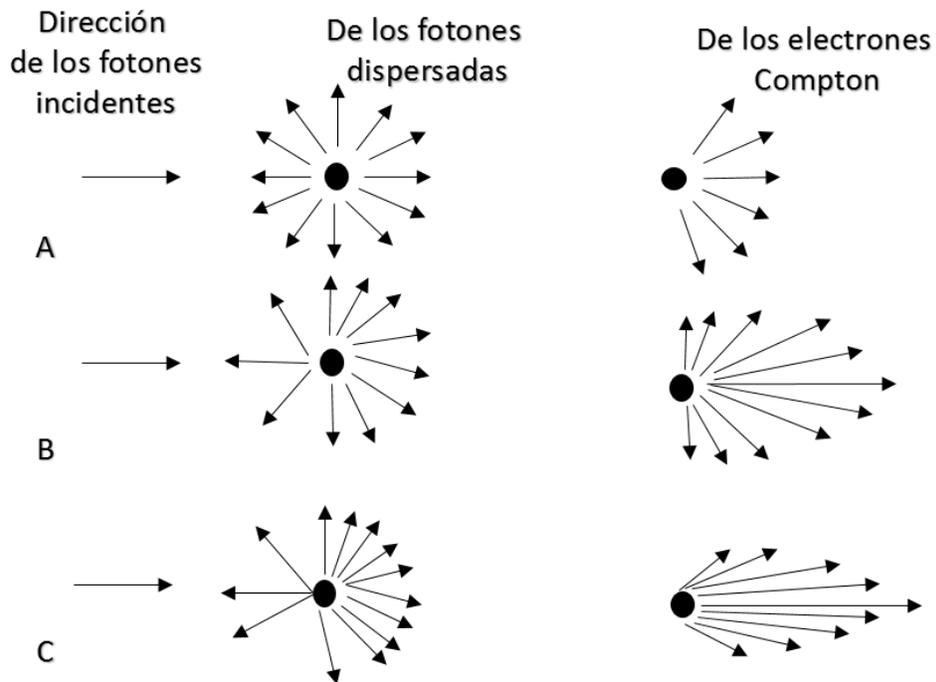
La energía cinética del electrón es absorbida mientras la energía del fotón de retroceso es difundida. La conservación de la energía conlleva: $E = W_e + E_r$.

La masa del electrón vale m ($mc^2 = 511keV$).

El electrón Compton es siempre proyectado hacia adelante en relación con la trayectoria del fotón incidente, pero los fotones de retroceso pueden ser emitidos hacia atrás.

Cuanto mayor es la energía incidente, más importante es el porcentaje de electrones Compton y fotones de retroceso que se reagrupan como media alrededor de la dirección del fotón incidente (**Figura 9**).

Figura 9. Dirección de los electrones Compton y de los fotones de retroceso



(Fuente: Aurengo y Petitcler, 2006)

Igual que en el caso del efecto fotoeléctrico, se puede definir un coeficiente de atenuación lineal ligado al efecto Compton: σ . Se puede demostrar que σ/ρ es prácticamente independiente del material atravesado y decrece lentamente conforme aumenta la energía del fotón incidente E ; σ es pues proporcional a ρ y el efecto Compton es tanto más importante cuando más denso es el material

atravesado. Para fotones de 140keV, se obtienen por ejemplo los valores siguientes presentados en la **tabla 1**:

Tabla 1. Relación σ/ρ para el Efecto Compton

	Emisión	Espectro
σ/ρ	$0.15 \text{ cm}^2 * \text{g}^{-1}$	$0.13 \text{ cm}^2 * \text{g}^{-1}$
ρ	$1 \text{ g} * \text{cm}^{-3}$	$11.3 \text{ g} * \text{cm}^{-3}$
σ	0.15 cm^{-1}	1.47 cm^{-1}

(Fuente: Aurengo y Petitchler, 2006)

2.2.3 Otros tipos de interacción

2.2.3.1 Dispersión de Thomson-Rayleigh

En el curso de este proceso puramente difusivo, el fotón incidente es absorbido por el átomo diana y reemitido en una dirección diferente, pero sin cambios en la longitud de onda. Muy importante para los fotones poco energéticos (IR, visible, UV), la dispersión de Thomson-Rayleigh es despreciable para los fotones X o γ .

2.2.3.2 Dispersión de pares o materialización

Este proceso se produce en el caso de los fotones muy energéticos que pasan en la cercanía de un núcleo: el fotón incidente se materializa en un electrón y un positrón, de masa idéntica y con idéntica energía cinética W_e . Si E es la energía incidente, la conservación de la energía lleva a:

$$E = 2cm^2 + 2W_e \quad (20)$$

El electrón y el positrón agotan su energía cinética en ionización y excitaciones. Al finalizar su recorrido, el positrón se combina con un electrón y da lugar a la aparición de dos fotones de 511 keV que se dispersan en direcciones opuestas. La energía transferida en un proceso de creación de pares es pues $E - 2mc^2$ y la energía dispersada $2cm^2 = 2x5 \left[\frac{1}{2} \right] 10 \cong \frac{1}{1000} 11keV$.

El coeficiente de atenuación lineal ligado a la creación de pares, designado con la letra π , crece aproximadamente como el número másico Z del blanco. Vale cero para energías E inferiores a $2cm^2 = 1.022 keV$ y sólo alcanza valores significativos para energías muy grandes. [15]

2.2.3.3 Reacciones fotonucleares

Estas reacciones no son utilizadas en la práctica médica, no se producen más que en el caso de los fotones de energía extraordinariamente elevada (del orden de 10 MeV).

2.2.4 Importancia relativa de las interacciones elementales

En el dominio de las energías utilizadas en Medicina, las interacciones entre los fotones y la materia se hace esencialmente por efecto fotoeléctrico y efecto Compton y accesoriamente por creación de pares. El coeficiente de atenuación lineal global, μ , resulta de la combinación de los tres efectos y los fotones que atraviesan sin interactuar con la pantalla son aquellos que no han experimentado ninguno de los tres efectos. Según la ecuación (11):

$$N(x) = N_0 \cdot e^{-\mu x} = N_0 \cdot e^{-\tau x} \cdot e^{-\sigma x} \cdot e^{-\pi x} \quad (21)$$

Por lo que

$$\mu = \tau + \sigma + \pi \quad (22)$$

En el caso del agua se tienen los resultados siguientes:

Tabla 2. Distribución de los tres efectos elementales según el número atómico Z de la diana y la energía E de los fotones incidentes

Energía incidente E	Efecto predominante
$E < 50 \text{ KeV}$	Fotoeléctrico
$50 \text{ KeV} < E < 20 \text{ MeV}$	Compton
$E > 20 \text{ MeV}$	Formación de pares

(Fuente: Aurengo y Petitcler, 2006)

Tabla 3. Energía del fotón incidente y efecto predominante del Plomo

Energía incidente E	Efecto predominante
$E < 500 \text{ KeV}$	Fotoeléctrico
$500 \text{ KeV} < E < 1 \text{ MeV}$	Compton
$E > 1 \text{ MeV}$	Formación de pares

(Fuente: Aurengo y Petitcler, 2006)

2.2.4.1 Importancia relativa de la absorción y la dispersión

La parte de la energía dispersada en el curso de la interacción de los fotones con la materia interviene en tres áreas muy importantes:

- ✓ Es responsable de una gran parte del aspecto borroso de las imágenes obtenidas utilizando rayos x (radiografías, tomografías) y γ (gammagrafías).
- ✓ Constituye una parte de la energía difícilmente controlable en radioterapia.
- ✓ Constituye una fuente potencial de irradiación (especialmente a la profesional) subrepticia ya que puede contornear las pantallas y su geometría es difícil de determinar. [16]

Se puede descomponer el coeficiente de atenuación lineal μ en una parte μ_d correspondiente a la energía dispersada y otra parte μ_t a la energía transferida con $\mu = \mu_d + \mu_t$. Para los tejidos biológicos en el dominio utilizado en radiografías, tomografías, (50keV a 1.5 MeV), la relación μ_d/μ_t es superior a 4, indicando la importancia de la radiación dispersada.

2.2.5 Energía solar e interacción directa con el cuerpo humano

La energía solar es la que llega a la Tierra en forma de radiación electromagnética procedente del Sol, en donde es generada por un proceso de fusión nuclear.

En el Sol se producen constantemente reacciones nucleares de fusión: los átomos de hidrógeno se fusionan dando lugar a un átomo de helio, liberando una gran cantidad de energía. La pequeña parte que llega a la Tierra, es además parcialmente reflejada hacia el espacio exterior por la presencia de la atmósfera terrestre. [6]

La luz solar es un poderoso alimento para el cuerpo y la mente. De tal manera, que su escasez tiene los mismos resultados que una mala dieta: apatía, ansiedad, disminución de las defensas o palidez.

Un grupo de investigadores de la Universidad de Alabama en Birmingham (Estados Unidos) ha comprobado el valor de la luz para conservar nuestra mente en forma. Según estos estudios, un nivel bajo de exposición a la luz solar en personas que padecen depresión, incrementa su riesgo de sufrir deterioro en sus capacidades cognitivas. También se observa carácter irritable, alteraciones de sueño y dificultades en el trato con los demás, aunque la falta de energía es el rasgo más definitorio. [17]

Una adecuada exposición al Sol nos da algunos beneficios que nos ayudaran a mejorar nuestra calidad de vida en mayor parte gracias a la vitamina D, la cual se obtiene en gran parte de la absorción de luz solar como fuente energía.

- Optimiza la función muscular: ya que en humanos, se ha encontrado una interacción receptor-ligando denominada VDR en células de músculo esquelético que se une específicamente a $1,25 \text{ (OH)}_2\text{D}_3$. En cultivos de mioblastos, esta vía genómica ha demostrado influir en la entrada de calcio en la célula muscular, en el transporte de fosfato a través de la membrana de la célula muscular y en el metabolismo fosfolipídico. Por lo tanto el aporte de vitamina D induce rápidos cambios en el metabolismo del calcio de la célula muscular. [7]
- Favorece la formación de células inmunitarias: la vitamina D ejerce su acción a través de la unión con su receptor nuclear e interviene activando factores de transcripción. El receptor se encuentra presente en células de diferentes tejidos y del sistema inmune como las células dendríticas, macrófagos y linfocitos T. En el sistema inmune produce inhibición de la diferenciación y maduración de las células dendríticas, interfiriendo en su capacidad presentadora de antígenos a los linfocitos T específicos. Produce además disminución de la transcripción de genes que codifican interleuquina 2,

interleuquina 12, interferón γ y factor de necrosis tumoral α produciendo un desequilibrio entre los linfocitos T auxiliares Th 1 y Th 2.

- Da más tolerancia al estrés, cansancio y mejora el carácter: La evidencia científica, nos demuestra que la luz influye en el estado de ánimo de todas las personas. Cuando se trabajan con grupos de voluntarios y con estadísticas, el influjo de este factor aumenta y disminuye la media global en muchas cuestiones psicológicas. El descenso de horas de luz aumenta las sensaciones de **relajación**: el sosiego y la calma, pero también la melancolía y la tristeza. Y también hay evidencias de que el aumento de claridad contribuye a la **activación**, tanto en su sentido positivo (alegría) como negativo (ansiedad). De hecho, la evidencia clínica apoya esta relación entre la luz y la **depresión**. En los pacientes que sufren esta enfermedad, es característica la tendencia a la ftofobia: encerrarse en cuartos oscuros, cerrar persianas, llevar gafas de Sol. La tristeza se esconde en la **oscuridad** y por eso los humanos han creado tanta tecnología para alejar las tinieblas. Otro tipo de investigaciones que avalan la influencia de este factor son las que estudian el influjo de los cambios de estación en nuestra vida psíquica. Un ejemplo: el psiquiatra Michael Terman, uno de los pioneros de la **cronoterapia**, realizó un estudio hace unos años que mostraba que las variaciones lumínicas y de temperatura son decisivas incluso en el medio urbano. En la ciudad de Nueva York, la mitad de las personas analizadas perdía parte de sus energías en otoño y en invierno, el 47% ganaba peso en ese periodo, un 31% dormía más y otro 31% perdía interés en las actividades sociales. [17]

Entre los encuestados que declararon cierta disminución de sus energías en determinada época del año, aproximadamente el 50% la refirieron al otoño y al invierno, sólo el 12% se sentía así en verano. Y esto parece tener relación con la necesidad de hidratos de carbono en el organismo: los afectados

sufren ataques episódicos de depresión combinados con un ansia de consumir **hidratos de carbono** .

- Tiene acción preventiva en el riesgo de tumores: algunos científicos indican q la vitamina D puede evitar el cáncer de colon, próstata y seno. Pero hay indicios de que exceso puede llevar a un cáncer de páncreas.
- Alivia dolores reumáticos, artrosis, artritis y curación de fracturas: Los efectos positivos de vitamina D en la consolidación y curación de la fractura se asoció a una mayor resistencia a la torsión del hueso consolidado tras la fractura y a su vez esta vitamina actúa sobre las enfermedades óseas ya que estimula la absorción de calcio y fosforo fortaleciendo de esta manera los huesos del cuerpo. [17]

CAPITULO III

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Dadas las características de la presente investigación, el tipo de estudio es el descriptivo, porque a través de él se busca realizar una caracterización del cuerpo humano como un sistema de aprovechamiento de la energía solar relacionando su comportamiento con el de un sistema tecnológico de energía solar. La meta de este estudio no se limita a la recolección y presentación de datos, sino a la identificación de las relaciones que existen entre ambos sistemas de aprovechamiento.

Esta investigación es un estudio cualitativo, ya que recoge información tal como: la descripción de los sistemas, componentes y propiedades de los sistemas, análisis energético de los componentes que contribuyen a identificar los factores importantes en la caracterización del cuerpo humano como un sistema natural de aprovechamiento de la energía, la cual en su mayoría proviene directa o indirectamente del Sol.

Se considera investigación científica ya que orienta un proceso de estudio de la realidad o de aspectos determinados de ella.

Se constituye en un estudio causal comparativo debido a que además de pretender descubrir cómo se desarrollan los procesos energéticos en el cuerpo humano y cómo está caracterizado el ser humano como un sistema de aprovechamiento se quiere saber de qué manera emplea la energía proveniente del Sol y por qué ocurren todas las transformaciones a partir del intercambio energético, entonces se comparan semejanzas y diferencias que existen entre este sistema vivo y el sistema tecnológico de aprovechamiento, para descubrir los factores o condiciones que acompañan ambos procesos.

3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Teniendo en cuenta que el diseño metodológico está basado en el planteamiento de los objetivos específicos, se presentan a continuación las etapas mediante las cuales se realizó el proyecto:

3.2.1 Revisión del estado del arte: esta etapa se lleva a cabo durante toda la investigación realizando una exhaustiva revisión de todos los referentes teóricos bibliográficos y el estado actual de los temas, que aportan al desarrollo de la misma.

3.2.2 Identificación de componentes: se identifican los subsistemas que juegan un papel de componentes de un sistema convencional de aprovechamiento de energía solar y del organismo humano.

3.2.3 Análisis energético: se establecen y clasifican los niveles de dependencia directa solar de cada uno de los macronutrientes que consume el ser humano en relación a la energía con el fin de establecer de forma aproximada su eficiencia y dependencia del Sol.

3.2.4 Comparación de los sistemas: se hace una evaluación de los procesos de aprovechamiento comparando los sistemas en términos de su estructura general y eficiencia aproximada.

3.2.5 Análisis de resultados: se analizan los resultados teóricos obtenidos y se concluye sobre el nivel de dependencia solar del ser humano como sistema energético.

3.3 DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

3.3.1 Sistema tecnológico de energía solar: Descripción del sistema

El Sol es la fuente de energía más abundante en la Tierra: renovable, disponible, gratuita y en cantidad muy superior a las necesidades energéticas de la población mundial. Así, la energía solar puede completar eficazmente nuestras necesidades energéticas en cuanto a electricidad, calefacción, calentamiento de piscinas climatizadas o agua caliente sanitaria, además, la energía solar, es quizás la fuente renovable en la que los ciudadanos pueden protagonizar más directamente el cambio de modelo energético que se propugna. Y es que la tecnología solar puede situarse casi en cualquier lugar y en instalaciones de diferente tamaño, de tal forma que prácticamente cualquier edificio puede convertirse en una pequeña central generadora de electricidad, o productora de su propia agua caliente sanitaria. Por otro lado, se trata de una tecnología fácil de instalar, silenciosa, y con una vida útil prolongada, que requiere de escaso mantenimiento y goza de una elevada fiabilidad.

En función del proceso físico de aprovechamiento se puede dividir la energía solar en térmica (calefacción, calentamiento piscinas climatizadas, entre otros) y fotovoltaica (electricidad).

Los componentes fundamentales de un sistema de aprovechamiento de la energía solar son: subsistema de captación, subsistema de regulación, subsistema de transporte interno y subsistema de almacenamiento. En la captación se atrapa la radiación solar y se convierte a un tipo de energía que pueda ser manipulada y transportada dentro del sistema para ser almacenada y luego aprovechada para diferentes fines. Dentro del sistema se tienen también procesos de regulación que permiten controlar la energía, controlar su almacenamiento y prepararla para su eficiente aprovechamiento. Por ejemplo en el caso de necesitar energía calorífica, un sistema de energía solar térmica utiliza para su captación colectores solares,

transporta el calor a través de agua, lo almacena en contenedores térmicos. El aprovechamiento eficiente puede regularse por ejemplo en la manera como los diferentes componentes son construidos.

De la misma manera si se necesita energía eléctrica, un sistema solar fotovoltaico capta la radiación a través de paneles solares que convierten esta energía en electricidad, la cual luego se conduce a través de cables eléctricos (conductores) y se almacena en baterías por medio de reacciones químicas reversibles (es decir la energía eléctrica se convierte en energía química). En este proceso existen dispositivos de regulación que permiten alcanzar mayores eficiencias del sistema de aprovechamiento de la energía solar.

3.3.2 Componentes de un sistema tecnológico de aprovechamiento de la energía solar

3.3.2.1 Captación

Los sistemas tecnológicos de energía solar pueden captar esta energía a partir de los siguientes elementos respecto a su proceso de aprovechamiento:

- ***En los sistemas de energía solar fotovoltaica***, que consisten en la generación de energía eléctrica directamente del Sol, emplean las células solares como captadores y están hechas de materiales semiconductores y poseen electrones débilmente ligados ocupando una banda de energía denominada “banda de valencia”. Cuando se aplica un cuanto de energía por encima de un cierto valor a un electrón de valencia, el enlace se rompe y el electrón pasa a una nueva banda de energía llamada “banda prohibida” Esto para semiconductores puros. Mediante un contacto selectivo, estos electrones pueden ser llevados a un circuito externo y realizar un trabajo útil, perdiendo así la energía captada y regresando por otro contacto a la banda

de valencia con la energía inicial, anterior al proceso de absorción de un fotón luminoso. La ecuación (23) representa la ecuación de Einstein del efecto fotoeléctrico y expresa estos hechos:

$$h\nu = E_c + W \quad (23)$$

La energía de un cuanto de luz ($h\nu$) incidente es igual a la energía requerida para extraer el electrón del metal (la función W) más la energía cinética $E_c = \frac{1}{2} mv^2$ impartida al electrón.

El flujo de electrones en el circuito exterior se llama corriente de la célula y su producto por el voltaje con el que se liberan los electrones por los contactos selectivos determina la potencia generada. Todo esto ocurre a temperatura ambiente y sin partes móviles, pues las células solares, que convierten en electricidad, sólo una parte de la energía de los fotones absorbidos se calientan unos 25-30°C por encima de la temperatura ambiente. Este tipo de energía obtenida a través de los semiconductores es recibida como corriente continua. Este tipo de efecto fotoeléctrico es la base de la producción energía eléctrica por radiación solar, ocurriendo este cuando determinados materiales irradiados con energía luminosa generan energía eléctrica.

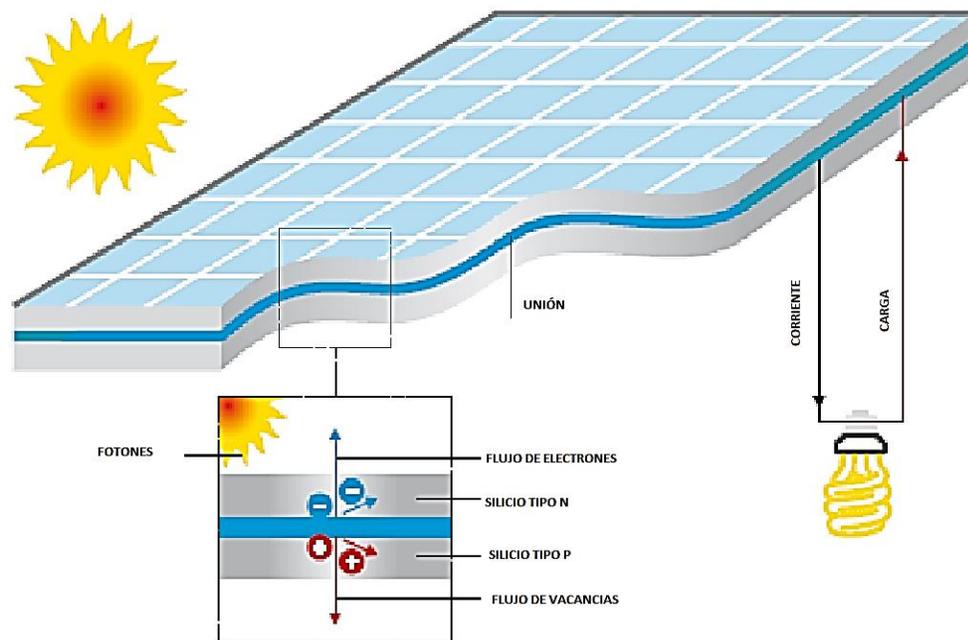
La estructura típica de una célula solar es una unión PN similar a los diodos semiconductores, pero no necesariamente la única posible. En las aplicaciones fotovoltaicas, las células solares se interconectan y encapsulan en elementos llamados módulos fotovoltaicos. Estos módulos producen corriente continua que suele transformarse en corriente alterna, más útil, mediante un dispositivo electrónico llamado inversor u ondulator. El inversor, las baterías recargables, en caso de que se necesite almacenamiento, las estructuras sobre las que se montan y orientan los módulos así como otros

elementos necesarios para construir un sistema fotovoltaico (FV) se llama BOS (Balance of System), que significa, sencillamente, “resto de sistema”.

La aplicación más común de las celdas solares es con la conexión de láminas delgadas de silicio y boro, con espesor aproximado de 0.5 mm en conexión serie o paralelo, para obtener así potencias de kilovatios de acuerdo a la necesidad o aplicación deseada.

Cuando se realiza conexión a red, o sea alimentando directamente los elementos de los paneles, se tiene una gran ventaja, debido a que no requiere ningún sistema de acumulación de energía, abaratándose así los costos de producción de la misma. [18]

Figura 10. Celda fotovoltaica



(Fuente: <http://www.wattcraft.com/technical/pv-technical-summary/>).

- **En el sistema térmico** el captador es un colector solar que consta de una placa captadora que, gracias a su geometría y a las características de su superficie, absorbe energía solar y la convierte en calor (conversión fototérmica). Esta energía es enviada a un fluido portador del calor que circula dentro del colector mismo o tubo térmico. Fundamentalmente existen tres tipos de colectores solares: planos, de vacío y de concentración. Los primeros se dividen en otras dos categorías: planos con cubierta y planos sin cubierta. Los colectores solares planos son el tipo más común actualmente. Los colectores planos con cubierta están compuestos esencialmente por una cubierta de vidrio, una placa captadora aislada térmicamente en la parte inferior y están lateralmente contenidos en una caja de metal o plástico. Los colectores planos sin cubierta normalmente son de material plástico y están directamente expuestos a la radiación solar. La utilización de estos últimos se limita al calentamiento del agua de las piscinas.

Un colector solar de vacío está proyectado para reducir las dispersiones de calor hacia el exterior. El calor captado por cada elemento (tubo de vacío) es transferido a la placa, generalmente de cobre, que está dentro del tubo. De esta manera, el líquido portador del calor se calienta y, gracias al vacío, se reduce al mínimo la dispersión de calor hacia el exterior. En su interior la presión del aire es muy reducida, de forma que impide la cesión de calor por conducción. En la fase de montaje, el aire entre el absorbente de energía y el vidrio de la cubierta es aspirado y hay que asegurar una hermeticidad perfecta y perdurable en el tiempo. [19]

Figura 11. Colector solar con tubos evacuados



(Fuente: <http://www.heliotermica.com>)

3.3.2.2 Transporte interno

En los sistemas tecnológicos de energía solar es posible ver que los subsistemas de transporte interno están constituidos mediante elementos que transportan la energía de manera similar, su única diferencia connotada es el elemento empleado para realizar dicho proceso. En el sistema fotovoltaico el transporte de la energía se hace a través de la electricidad por medio de conductores de cobre y aluminio. El transporte de la energía para el sistema fotovoltaico es realizado por el cableado de conductor eléctrico cuya función es conducir la corriente eléctrica desde los módulos fotovoltaicos hasta el subsistema de almacenamiento. Su eficiencia depende del calibre del conductor, en relación a la corriente que transporta.

El subsistema de transporte del aprovechamiento térmico lo constituye un sistema de bombeo que es un circuito que consta de: bomba hidráulica (o efecto termosifón en los sistemas no forzados) y diferentes tipos de válvulas y tuberías. Generalmente existen dos circuitos diferentes: el primario, que es aquel por el que circula el fluido que se calienta dentro de los colectores, y el secundario, que es el formado por el agua de consumo.

El transporte interno de la energía en este caso es realizado por el agua y los fluidos termoestables. [20]

3.3.2.3 Regulación

Los sistemas solares cuentan con un proceso de regulación y control que monitorea, en términos generales, cada una de las componentes de todo el sistema y regula su funcionalidad. Por ejemplo, en el sistema fotovoltaico, la regulación permite que la carga de las baterías (subsistema de almacenamiento) se realice adecuadamente. Este proceso de regulación controla la carga evitando que, con la batería a plena capacidad, los módulos fotovoltaicos sigan inyectando carga a la misma y se lleva a cabo anulando o reduciendo el paso de corriente del campo fotovoltaico. El regulador (**Figura 12**), también es una fuente de información de los parámetros eléctricos de la instalación fotovoltaica, puede proporcionar datos de la tensión, intensidad, estado de carga de las baterías, etc.

Figura 12. Regulador de carga



Fuente: <http://www.amvarworld.com/es/reguladores-solares-10ah/603-regulador-solar-10a-marca-paco.html>

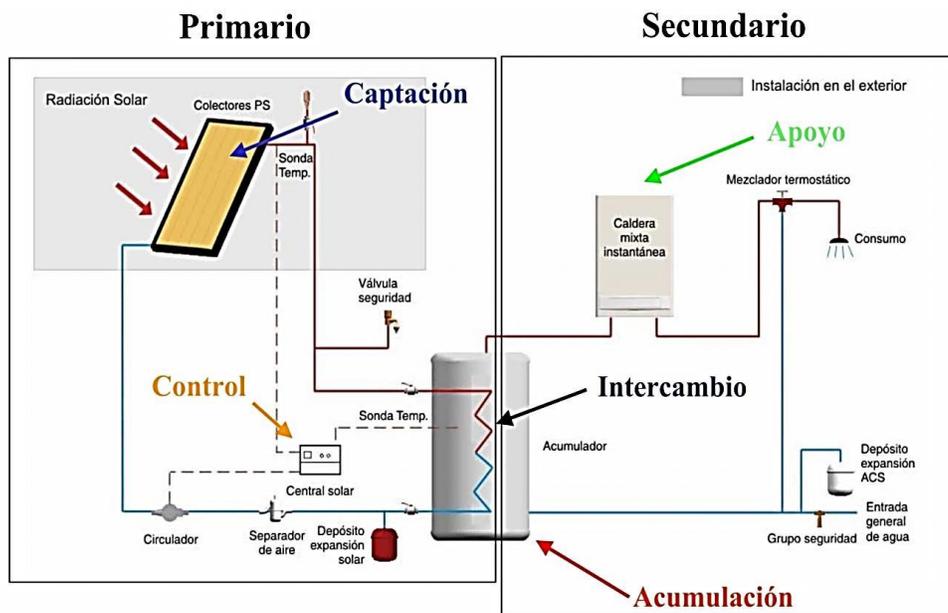
Los reguladores incluyen algunos tipos de protecciones tales como:

- ✓ Protección contra corto circuito; que desconecta la salida de la carga, de hecho el regulador, intentará restaurar la salida cada segundo. Cuando la falla desaparece, la salida del circuito de carga, vuelve a restaurarse.

- ✓ Protección contra sobre tensiones; estas normalmente en la mayoría de los casos es causada por fenómenos naturales como son las descargas eléctricas, en este caso la protección está conformada por fusibles conectados tanto a la entrada como a la salida de las líneas de alimentación. Cabe anotar además que algunos reguladores, permiten la inversión de polaridad en los bornes de la batería y el panel solar. [21]

En un sistema térmico la regulación la realizan el subsistema de control que es un sistema electrónico que se encarga de coordinar y automatizar la circulación del agua, la temperatura de los colectores y la seguridad de todo sistema, garantizando el correcto funcionamiento de la instalación (**Figura 13**).

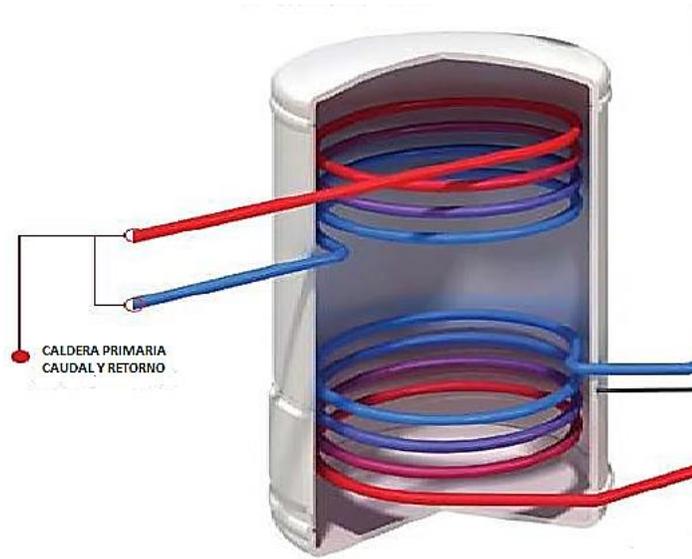
Figura 13. Sistema de control y regulación



(Fuente: <http://arquitectnide.blogspot.com.co/2013/01/sistemas-de-energia-solar-termica-baja.html>)

El intercambiador es el dispositivo por el cual se transmite el calor generado en los colectores hacia el agua que se va a utilizar. Como se ve en la **Figura 14**, en sistemas solares térmicos suele ser un tubo con forma de serpentín (situado dentro del tanque acumulador o calentador), a través del cual fluye el agua caliente que proviene de los colectores. El agua a consumir entra en contacto con este serpentín y recibe el calor. [22]

Figura 14. Intercambiador



(Fuente: <http://www.heliotermica.com>)

3.3.2.4 Almacenamiento

La naturaleza variable de la radiación solar, y por lo tanto de la energía eléctrica generada, hace que en los sistemas fotovoltaicos aislados de la red eléctrica sean necesarios sistemas de almacenamiento de energía que permitan disponer de la misma en periodos en los que no es posible la generación. En los sistemas fotovoltaicos, dicho papel lo realiza la batería (**Figura 15**). Las propiedades de la batería que se elija para un sistema fotovoltaico influyen de gran manera en el diseño de algunos elementos de la instalación, por lo que hay que prestar una atención especial a las características más convenientes para las condiciones del sistema a alimentar, tales como los tipos de cargas para las que se destina, la potencia total y los ciclos de consumo previstos, entre otros. [23]

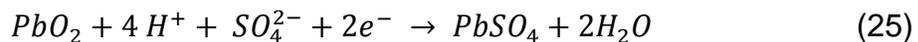
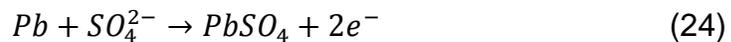
Figura 15. Batería



(Fuente: <http://www.electricidad-gratuita.com/bateria-solar.html>)

Las fuentes de fuerza electromotriz más importantes son las baterías, los generadores eléctricos, las celdas de combustible y las celdas solares.

Las baterías convierten energía química en energía eléctrica. Un tipo común de batería es el acumulador plomo-ácido, usado en automóviles, ese acumulador se compone de dos placas de plomo, el electrodo positivo y el electrodo negativo, sumergidas en una solución de ácido sulfúrico. El electrodo positivo está cubierto con una capa de dióxido de plomo, PbO_2 . Cuando se cierra el circuito externo, el ácido sulfúrico reacciona con las superficies sumergidas de los electrodos. Las reacciones químicas son respectivamente:



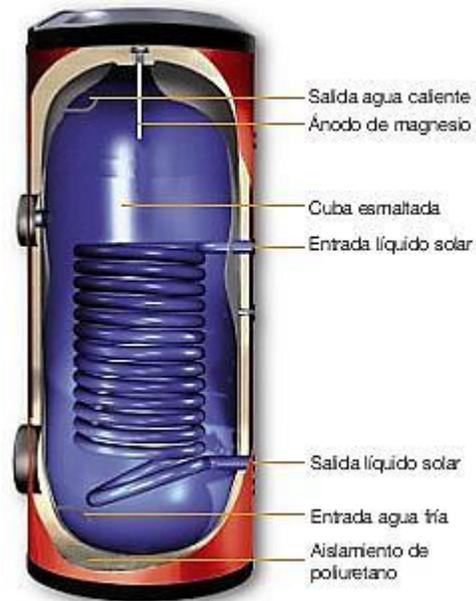
Estas reacciones depositan electrones en el electrodo negativo y absorben electrones en el electrodo positivo respectivamente. Así, la batería funciona como una bomba de electrones: el electrodo negativo es la descarga, el electrodo positivo es la succión, y los electrones van de la descarga a la succión por el circuito externo.

Naturalmente se conserva la carga en las reacciones químicas pues todas estas reacciones no consisten más que en un reacomodo de electrones y protones en las moléculas, y durante ese reacomodo, las cantidades de electrones y protones permanecen constantes.

Las reacciones agotan el ácido sulfúrico en la solución y depositan sulfato de plomo en los electrodos. Al agotarse el ácido sulfúrico termina por suspenderse la reacción, entonces, el acumulador está descargado. Este puede cargarse sólo haciendo pasar una corriente por él, en dirección inversa. Con ello se invierten las reacciones de las ecuaciones 24 y 25 y se regenera la solución de ácido sulfúrico. Lo que almacena el acumulador durante el proceso de carga no es carga eléctrica, sino energía química. Un acumulador cargado contiene compuestos químicos (plomo, dióxido de plomo y ácido sulfúrico) con energía interna relativamente alta, uno descargado contiene compuestos químicos (sulfato de plomo, agua) de menor energía interna. [3]

El sistema térmico cuenta con un acumulador de agua que es un depósito donde se almacena el agua que posteriormente se destina al consumo doméstico (bien para grifos o duchas). El acumulador en muchos casos suele ser también calentador, ya que el sistema que recolecta el agua se encuentra en el interior como se puede apreciar en la **Figura 16**, está conformado por un depósito con un serpentín en su interior, por el que circula el fluido caliente que procede de los captadores solares y que transfiere el calor al agua que lo rodea, este se encuentra aislado con espuma dura y poli estireno.

Figura 16. Acumulador



(Fuente: <http://www.sumiseran.es/contents/es/d4.html>)

Una gran variedad de técnicas de almacenamiento de la energía existen actualmente. Se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Mecánicas: este como energía cinética de movimiento lineal o rotacional, o energía cinética como: a) la energía potencial en un objeto elevado, b) la compresión o estiramiento de un material elástica c) la compresión de un gas.

Tipos de almacenamiento mecánico:

- ✓ *Hidroalmacenamiento*, es el método más simple de almacenamiento de energía. Durante la noche, cuando la demanda es baja, el agua puede ser bombeada hacia arriba y luego, durante el día a gran demanda, es dejada caer para crear más energía. La eficiencia de una planta de almacenamiento de energía por bombeo de agua es cerca del 50%. Al bombear agua hacia arriba se pierde el 30% de la energía. Al fluir el agua hacia abajo se pierde

30% de la energía. Estados Unidos tiene actualmente 59.000 MW de capacidad hidroeléctrica y 10.000 MW de capacidad de almacenamiento por bombeo.

- ✓ *Aire comprimido*, durante las horas de baja demanda el aire es comprimido y conservado en grandes cavidades subterráneas. En las horas de demanda es liberado para hacer funcionar turbinas generadoras.
- ✓ *Rotores*, una rueda de masa relativamente grande puede almacenar energía cinética. Los rotores pueden ser usados para almacenamiento de energía en transporte, particularmente en vehículos de carretera:
 - Los rotores tienen una ventaja significativa en vehículos que tienen frecuente acelerado-frenado como en el tráfico urbano.
 - La idea básica es que cuando desacelera la energía mecánica es almacenada instalando rotores con piñones en lugar de gastar la energía en fricción.
 - Se han alcanzado economías de energía del orden del 50%.
 - El uso más importante es el freno regenerativo, por ejemplo en los trenes de metro.
- **Térmicas:** la energía puede ser almacenada en procesos térmicos.
 - ✓ Elevando o bajando la temperatura de una sustancia.
 - ✓ Cambiando la fase de una sustancia (por ejemplo cambiando su calor latente).
 - ✓ Combinación de las dos.
- **Químicas:** la energía puede ser almacenada químicamente en:
 - ✓ Sistemas que se componen de uno o varios compuestos que liberan o absorben energía cuando reaccionan con otros compuestos.
 - ✓ El método más conocido es la batería, por reacciones electroquímicas
 - ✓ Muchas reacciones químicas son endotérmicas y suceden absorbiendo energía, luego cuando el sistema es liberado la reacción se invierte. La energía es almacenada utilizando el calor de las reacciones químicas.
- **Biológicas:** La energía puede ser almacenada biológicamente:

- ✓ *En procesos biológicos*, son considerados métodos importantes de almacenamiento de energía por largos períodos de tiempo. Por ejemplo, el almacenamiento natural de la energía por las plantas para luego ser utilizadas en biomásas para la producción de biodiesel.
- Magnéticas: la energía puede ser almacenada en campo magnético:
 - ✓ Grandes imanes superconductores son capaces de almacenar 1.000 – 10.000 MWh de electricidad. [20]

3.3.2.5 Aprovechamiento y eficiencia

Son innumerables las aplicaciones en el aprovechamiento de la energía que van desde aplicaciones domésticas a pequeña escala como suministro de electricidad, calefacción, ambientación, hasta aplicaciones industriales y a gran escala como electrificación, termogeneración, etcétera. En cada caso se puede analizar y determinar la eficiencia de cada sistema, la cual puede variar dependiendo de parámetros específicos. En términos generales la eficiencia de los paneles solares oscila entre el 2% y el 45%, y de los colectores térmicos hasta cerca de un 90% [20].

3.3.3 Sistema ser humano como sistema solar: Descripción

Este sistema se estudia como un sistema abierto en estado estacionario.

El ser humano como componente del medio, haciendo parte de éste en forma de un sistema abierto en estado estacionario, lleva a cabo innumerables procesos de intercambio de materia y energía con el entorno. Todos los organismos vivos necesitan de energía para poder funcionar de manera óptima, y para mantener la entropía que se mantiene constante en el medio. Esta energía se puede obtener por medio de la alimentación, que es el proceso más común, donde el paso final es el almacenamiento de la energía dentro del organismo, principalmente en las

moléculas de ATP. Esta energía, en el presente trabajo se clasifica de acuerdo a su proveniencia y a la manera como estas fuentes aprovechan de forma directa o indirecta la energía proveniente del Sol, que es la fuente principal de energía que tiene el planeta y fundamentalmente la única que tienen los organismos vivos.

El ser humano es como una gran máquina, que toma parte del medio como un sistema abierto en estado estacionario, capaz de transformar una energía en otra, y de intercambiar materia y energía generalmente calor con el entorno; pues bien, antes de transformarla debe recibirla de los medios que el entorno le brinda, tales como el alimento o el Sol, estos llegan al organismo a través de los diferentes órganos y sistemas del cuerpo humano, como la piel, el estómago, pulmones, tejido adiposo, células, moléculas almacenadoras como el ATP, macromoléculas como la glucosa, entre otros. Es importante recalcar, que aunque la mayor parte de energía consumida por el ser humano proviene de los alimentos, estos a su vez contienen energía que proviene directa o indirectamente de una sola fuente: el Sol. Además esta máquina sofisticada como es el cuerpo humano podría compararse globalmente con un sistema de aprovechamiento de la energía, pero mucho más complejo y perfecto. Para que este sistema funcione, son necesarios componentes globales similares a un sistema ingenieril: el cuerpo humano necesita receptores de energía, almacenadores de energía, transporte interno, control de su procesamiento y finalmente diferentes mecanismos para su aprovechamiento.

Por otra parte, la energía que se encuentra almacenada en el organismo, puede ser liberada en forma de trabajo mecánico, y transformándose en calor mediante procesos como el ejercicio, procesos metabólicos o la termorregulación, que requieren un gasto de energía por parte del organismo hacia el entorno en el que se encuentra, de esta manera se interactúa con la entropía que presenta el medio y así mantener un equilibrio. De la misma manera un calentador solar, por ejemplo, puede liberar su energía térmica almacenada en forma de trabajo mecánico

moviendo turbinas de vapor, o transformarla en calor comunicado a otros cuerpos mediante procesos termorregulados como calefacción y otros.

Así como un sistema de energía solar sofisticado tiene subsistemas de control y monitoreo para optimizar el aprovechamiento de la energía, el cuerpo humano está diseñado para sobrevivir al medio durante los procesos de adaptación dependiendo el entorno en el que el individuo se encuentre. Para ello está dotado de órganos, sistemas y componentes que lo ayudan a adaptarse de manera óptima.

Una parte fundamental de esta caracterización es identificar los subsistemas del ser humano análogos a un sistema convencional de aprovechamiento de la energía solar dentro de los cuales es posible realizar una clasificación de los elementos receptores, almacenadores y de aprovechamiento que se describen a continuación. Es importante notar que el análisis más correcto es comparar un sistema de energía solar convencional con el gran sistema de aprovechamiento de la energía del Sol como es el organismo humano, es decir, estudiando el cuerpo humano como un sistema solar nos ayudaría a perfeccionar el uso de la energía del Sol en la industria y en los sistemas mecánicos solares. A continuación se muestran cuáles serían las componentes del cuerpo humano como máquina solar.

3.3.4 Componentes del sistema ser humano

3.3.4.1 Captación

La energía solar, como fuente principal para nuestra máquina, puede llegar en diferentes formas: de forma directa, es decir en forma de radiación visible, en forma química, es decir almacenada químicamente en los alimentos, y en forma de calor, a través de los cuerpos del entorno. Para la recepción de esta energía el cuerpo necesita primeramente elementos receptores. La clasificación mencionada a continuación de los principales receptores de energía solar (directa o indirecta) está

basada en la forma como las fuentes de energía tocan por primera vez el cuerpo humano, para que su energía almacenada pueda ser procesada.

Básicamente se identifican los captadores de energía del cuerpo humano como la piel, el estómago e intestinos y los pulmones. La primera capta la radiación directa del Sol y la radiación en forma de calor, el segundo aprovecha la energía química (inicialmente solar) contenida en los alimentos, y finalmente los pulmones captan las moléculas de oxígeno que al fin y al cabo liberan energía en los procesos de oxidación.

Entonces, dentro de los captadores energéticos en el cuerpo humano se pueden clasificar los siguientes:

- **La piel:** al exponernos a los rayos del Sol la piel es quién recibe la energía que este desprende, y que es necesaria para procesos como la fijación de la vitamina D en los huesos. La vitamina D es esencial para el crecimiento de los huesos uñas y cabello debido a la absorción del calcio suministrado por los alimentos. Otro proceso importante es la regulación y producción de la melanina, y por último pero no menos importante también es recibida en la forma más común de energía, el calor. Las células epiteliales reciben energía del Sol, necesaria para asimilar y sintetizar la vitamina D, ya que el organismo no puede hacer esto por sí mismo en el intestino, que es donde los nutrientes de los alimentos se asimilan y ya digeridos pasan al torrente sanguíneo que los lleva a cada una de las células del cuerpo. Al interior del cuerpo humano ocurren procesos termodinámicos de manera constante, en órganos, sistemas, tejidos, en fin que permiten al organismo funcionar de manera óptima, por ejemplo, la piel es uno de los órganos más activos en el organismo durante ciertos procesos de foto-exposición y termorregulación (en conjunto con el tejido adiposo). La piel interactúa con la radiación solar dando protección al ser vivo de la radiación biológicamente importante que son la RUV y la luz. Esta función la cumple

gracias a su constitución física que le confiere determinadas propiedades ópticas y a las moléculas absorbentes de energía llamados cromóforos. [24]

- ✓ **Propiedades ópticas de la piel:** Se rigen por cuatro procesos fundamentales:
 - a. **Reflexión**, principalmente difusa, se ejerce a nivel de la capa córnea y de manera variable, siendo importante para la fracción visible y la RIR, no así para la UVB.
 - b. **Difusión**, se ejerce a nivel del estrato córneo y por la melanina, sobre todo de la fracción UVB.
 - c. **Absorción**, que se realiza a nivel de la capa córnea que absorbe el 70% de UVB debido a los aminoácidos polares de la queratina y al Ácido urocánico, de la melanina y los carotenoides que absorben la RUV y la luz; y la hemoglobina que absorbe la luz.
 - d. **Transmisión**, corresponde a la fracción del haz que ha escapado a los tres procesos anteriores y que penetra en la piel. Así, de la UVB, 20% llegan al cuerpo mucoso de Malpighi y 10% a la dermis. La mayoría de la luz y UVA atraviesa la epidermis siendo en parte detenido por la melanina. La luz roja y la RIR llegan hasta la hipodermis.

Los cromóforos de la piel son moléculas específicas que al absorber la RUV y la visible, aseguran los efectos biológicos de éstas sobre la piel. Estas moléculas tienen un característico espectro de absorción que depende de su estructura molecular. Los cromóforos son "energizados" por absorción de radiación y este hecho puede llevar a una reorganización molecular y/o a una acción con las moléculas vecinas (reacciones fotoquímicas). Por tanto, ninguna reacción fotoquímica tiene lugar en la piel si la longitud de onda a la que es expuesta la persona no es específicamente absorbida por los cromóforos de la piel.

La piel posee cromóforos endógenos normales o fisiológicos como son el ADN, las proteínas que contienen gran cantidad de aminoácidos aromáticos, los esteroides, los liposomas que dan lugar a reacciones cutáneas obligatorias, las porfirinas y el ácido urocánico en el estrato córneo. La melanina es un absorbente de la radiación lumínica y es el recurso fundamental de protección del daño producido. Al absorber al fotón es convertida a estados excitados, los cuales en su mayor parte los pierde en forma de calor, pero algunas de las moléculas activadas juegan rol en el daño celular y es así que en las quemaduras solares las células tienen mucha melanina. Ella produce daño celular. Otra función fisiológica de la melanina es atrapar y desactivar estados excitados. Además pueden estar los cromóforos anormales o fotosensibilizadores que pueden llevar a consecuencias no esperadas.

Las porfirinas expuestas a fuente lumínica apropiada de UVA se activan y reacciona con el oxígeno. El oxígeno reacciona con el lípido de la membrana celular y forma un peróxido lípido que produce daño en la membrana celular. El antraceno actúa sobre organelos citoplasmáticos.

Los efectos biológicos de la exposición a la radiación solar son consecuencia de reacciones fotoquímicas producidas por la interacción de los fotones con los cromóforos normales de la piel. Clásicamente se dividen en función del tiempo que tarda la aparición de estos efectos. [25]

- **Los pulmones:** la respiración externa es el conjunto de procesos cuyo resultado es el intercambio de gases entre los tejidos y el exterior. La producción o consumo de esos gases por los tejidos constituye la respiración hística. En los pulmones se obtiene oxígeno a través del intercambio gaseoso que sucede en los alvéolos que son cavidades en cuyas paredes se lleva a cabo el intercambio de gases con la sangre. Las paredes de los alvéolos están constituidas por dos endotelios, uno alveolar y otro capilar y a partir de allí el oxígeno pasa luego al

torrente sanguíneo y luego a donde se necesita para la transformación de energía. El área de las paredes de los alvéolos varía entre 50 y 100 m² y su espesor es del orden de 2 μm. El volumen de sangre contenido en los capilares pulmonares es de 60 cm³ aproximadamente y se renueva continuamente. Al respirar, se toma oxígeno que luego es utilizado por las células para el proceso de oxidación de la glucosa, proteínas y lípidos, que da como resultado moléculas almacenadoras como el ATP, que es la fuente de energía del organismo.

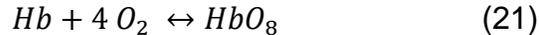
- ✓ **Transporte de los gases por la sangre:** el aire atmosférico seco está constituido aproximadamente por 1/5 de oxígeno, 4/5 de nitrógeno y una fracción despreciable de otros gases, los cuales no desempeñan ningún papel fisiológico de importancia en la respiración. El aire atmosférico no es seco, sino que contiene una fracción de vapor de agua que depende de la humedad del ambiente. Cuando este tipo de aire ingresa a los alvéolos, cede oxígeno a la sangre y toma de ella dióxido de carbono y su composición se modifica con suficiente rapidez para que el aire alveolar en su conjunto adquiera una composición media relativamente constante, propia de las diversas condiciones fisiológicas. En este intercambio que se denomina *alveolocapilar* participan fundamentalmente tres procesos *difusión*, *disolución* y *evaporación* de los gases, tanto en el agua de la barrera alveolocapilar como en la de la sangre.

Cada uno de los gases que se encuentran en la sangre tienen una presión tal que si ese gas se pone en contacto con ella permanece en equilibrio, a esta presión se le llama *presión parcial*. Por ejemplo, para que el nitrógeno tanto arterial como venoso permanezca constante, su presión parcial debe ser de 570 mm de Hg a 37° C. Este valor corresponde al 75% del nitrógeno en el aire. El intercambio gaseoso se realiza por la diferencia de presiones parciales de cada gas entre el aire alveolar y la sangre a nivel pulmonar y entre la sangre y los tejidos a nivel tisular.

La presión parcial del oxígeno en la sangre arterial es mayor que en la sangre venosa y la del CO₂ cumple la condición contraria por lo cual la sangre pierde oxígeno y gana dióxido de carbono a nivel tisular y en los alvéolos ocurre el proceso inverso.

a. Transporte de oxígeno

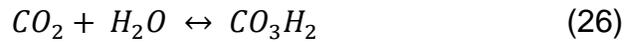
De acuerdo a la cantidad de oxígeno disuelto en la sangre arterial por litro se transportan 2,4 cm³, pero un análisis de la sangre entera demuestra que es posible extraer 190 cm³, de donde se infiere que la mayor cantidad de oxígeno transportado por la sangre se realiza a través de la hemoglobina. El transporte de oxígeno por la hemoglobina se realiza mediante una reacción reversible, ese gas se combina con la hemoglobina a nivel de los alvéolos y se desprende en los tejidos. El equilibrio puede presentarse así:



b. Transporte de CO₂

La cantidad de dióxido de carbono disuelto en la sangre arterial es de 24 cm³ por litro de sangre, sin embargo si se acidificada y somete al vacío desprende una cantidad de gas carbónico entre 480 y 500 cm³ por litro que corresponde a un valor mayor que el calculado a su disolución por presiones parciales y significa que la mayor parte de esta sustancia se encuentra combinada. Como en el caso del oxígeno, la explicación se encuentra en el hecho de que además del gas carbónico disuelto, la sangre transporta CO₂ combinado con agua y con grupos amino de las proteínas del plasma y de los glóbulos rojos, especialmente de la carboxihemoglobina.

La reacción con el agua se presenta de la siguiente manera y forma ácido carbónico:



Y este se disocia dando ion hidrógeno y bicarbonato de acuerdo con la siguiente ecuación:



Con las proteínas forma compuestos carbamínicos,



Que al disociarse producen ion hidrógeno:



El transporte de dióxido de carbono desempeña un papel importante en la determinación de la concentración de hidrogeniones del plasma y de todos los medios líquidos de cuerpo con los cuales se haya el equilibrio. [4]

- **El estómago:** en el sistema digestivo, en el que se lleva a cabo la ingesta, absorción y degradación de los alimentos, es más notorio el intercambio de energía que hay entre estos últimos y el organismo, puesto a que los alimentos son los que proporcionan la energía con la que funciona el cuerpo por medio de todas las macromoléculas que los componen y que llegan a ser posteriormente parte de los procesos metabólicos en los que se obtiene ATP, la moneda

energética de la célula. Los ácidos estomacales degradan y descomponen los alimentos para comenzar con la transformación química del alimento en energía. Aquí es donde comienza la digestión de los alimentos, como la separación de los lípidos de los demás nutrientes por parte de los movimientos peristálticos. En el intestino, se hace la absorción de los nutrientes que contienen los alimentos que se consumieron para luego ser transportados por el torrente sanguíneo hasta cada una de las células.

Las macromoléculas como el almidón, la celulosa o las proteínas no pueden ser tomadas por las células automáticamente, por lo que necesitan que se degraden en unidades más simples antes de usarlas en el metabolismo celular. Muchas enzimas digieren estos polímeros. Estas enzimas incluyen peptidasa que digiere proteínas en aminoácidos, glicosil hidrolasas que digieren polisacáridos en disacáridos y monosacáridos, y lipasas que digieren los triglicéridos en ácidos grasos y glicerol. Los aminoácidos, monosacáridos, y triglicéridos liberados por estas enzimas extracelulares son absorbidos por las células mediante proteínas específicas de transporte. A partir del ciclo de Krebs se afirma que el estómago hace parte de esta transformación y generación de energía en forma de ATP.

Los alimentos se presentan en muchas formas diferentes aunque siempre poseen las mismas funciones químicas básicas: suministrar la energía necesaria de las células del cuerpo y ejercer las funciones de materia prima para el crecimiento, la restauración y el mantenimiento de los tejidos y órganos vitales. Las diferentes sustancias que cumplen estas funciones se denominan nutrientes. Ya que los carbohidratos y las grasas constituyen la fuente energética principal, el valor de cualquier clase de alimento depende primordialmente de su contenido de estos dos nutrientes. [26]

- ✓ **La producción de energía a través de los alimentos:** Cualquier tipo de actividad requiere una cierta energía. El cuerpo debe ser capaz de convertir los

alimentos en un almacén de energía disponible en cualquier momento. Esta compleja cadena de acontecimientos se inicia con el proceso de la digestión en el estómago y el intestino, donde se liberan los nutrientes, tales como la glucosa, los ácidos grasos y los aminoácidos.

- a.** Los nutrientes son directamente absorbidos por la corriente sanguínea y distribuidos a todas las células del cuerpo.
- b.** Al llegar a la célula, esta utiliza la glucosa y los ácidos grasos como energía para toda una compleja secuencia de reacciones químicas que conduce a la liberación de energía que se almacena en forma de moléculas ATP.
- c.** En el momento que la célula realiza una determinada actividad como la contracción de un músculo, el ATP se descompone en ADP. [27]

Ningún alimento es perfecto dado que la mayoría de los alimentos contienen diversos nutrientes pero no existe ninguno que contenga todos los necesarios para proporcionar energía y el crecimiento.

La energía que contienen los alimentos que se consumen se mide en calorías (cal) y julios (J). Una caloría es la cantidad de energía necesaria para elevar la temperatura de 1 gramo de agua en 1 grado centígrado (1,8 grados Fahrenheit). Cuando se habla de la energía que contienen los alimentos es utilizada normalmente una unidad más alta que es 1000 veces mayor que una caloría, se trata de la kilocaloría (kcal). Otra unidad para expresar la energía es el julio (J). Un julio es la cantidad de energía gastada por una fuerza de 1 newton para mover un objeto 1 metro en la dirección de la fuerza. [28]

- ✓ **La ingesta de energía:** se define como el contenido calórico o energético de los alimentos considerados como las fuentes mayores de energía dietética: carbohidratos (16,8 kJ/g), proteína (16,8 kJ/g), grasas (37.8 kJ/g) y alcohol (29,4 kJ/g).

La cantidad de energía que el organismo absorbe a través de los alimentos se conoce comúnmente como ingesta de energía y es el combustible del cuerpo. Cada alimento contiene una cierta cantidad de energía que depende de su composición. Los macronutrientes son nutrientes que proporcionan calorías o energía. Los nutrientes son las sustancias necesarias para el crecimiento, el metabolismo y otras funciones del organismo. "Macro" significa grande; por tanto, los macronutrientes son los nutrientes necesarios en grandes cantidades. Existen tres tipos de macronutrientes: totalizados por la cantidad de alimentos consumidos en el día.

- Carbohidratos
- Proteínas
- Grasas

En la **tabla 4**. Se muestran los valores de energía liberada y los volúmenes de oxígeno consumido y dióxido de carbono producido en la combustión de un gramo de los macronutrientes.

Tabla 4. Los macronutrientes, su energía suministrada y los volúmenes de oxígeno consumido y CO₂ eliminado en su combustión

Alimento	Energía liberada kcal/g	Oxígeno necesario litros O₂/g	CO₂ litros/g
Carbohidratos	4,1	0,81	0,81
Grasa	9,3	1,96	1,39
Proteína	4,0	0,94	0,75
Alcohol	7,1	1,46	0,97

(Fuente: "Tratado de nutrición" de Hernández, Sastre, Gallego).

Aunque cada uno de estos macronutrientes proporciona calorías, la cantidad de calorías que suministra cada uno de ellos varía.

- Los hidratos de carbono proporciona 4,1 calorías por gramo.
- Las proteínas proporcionan 4 calorías por gramo.
- La grasa proporciona 9 calorías por gramo.

Además de los hidratos de carbono, las proteínas y la grasa, el alcohol es la única otra sustancia que suministra calorías. El alcohol proporciona 7 calorías por gramo; sin embargo, no se considera un macronutriente, ya que no es necesario para nuestra supervivencia.

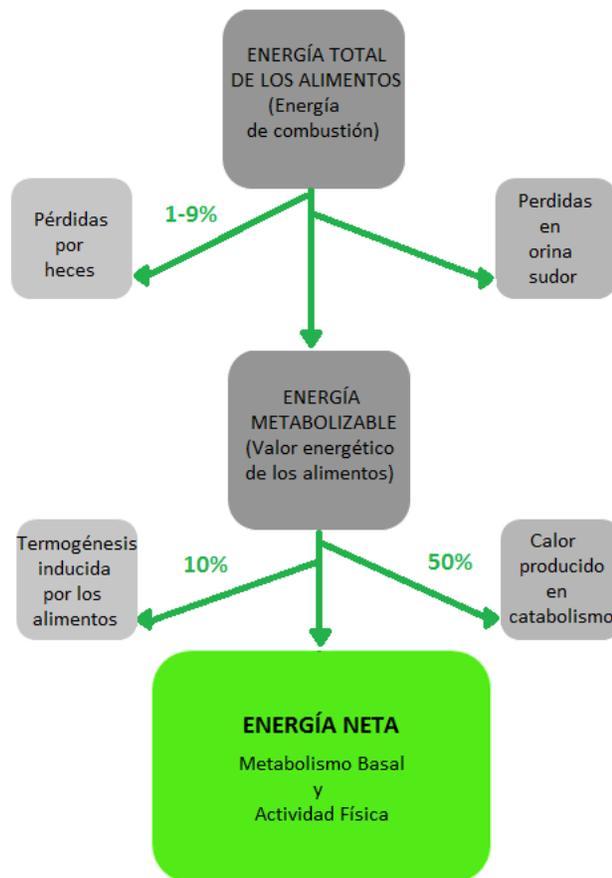
Esto quiere decir que si un producto contiene 5 gramos de hidratos de carbono o proteínas suministrará 20 calorías, mientras que un producto con 5 gramos de grasa proporcionará 45 calorías y uno con 5 g de alcohol 35 calorías. Por tanto, la reducción de la ingesta de alcohol (dado que no es un nutriente necesario) y la grasa (porque se trata del nutriente más energético) podría parecer un buen método para disminuir las calorías en los alimentos. Sin embargo, las grasas desempeñan un papel sumamente importante en las funciones del organismo (son las portadoras de las vitaminas solubles en la grasa y los ácidos grasos esenciales) y aumentan la apetencia de la dieta. Por este motivo, cuando se intente perder peso mediante la reducción en la ingesta de energía, no se debería reducir drásticamente el consumo de ninguno de los macronutrientes, pero sí que se debería adoptar la pauta general de 55% de hidratos de carbono, 15% de proteínas y 30% de grasas en nuestra ingesta diaria de energía, o bien personalizar la dieta según nuestras necesidades individuales.

La energía disponible de un alimento se establece normalmente en Calorías dietéticas y estas calorías se toman como kilocalorías ($1 \text{ kcal} = 4186 \text{ J}$, $1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J}$), y la valoración de las calorías de un alimento en realidad, puede ser

obtenida por la quema en una atmósfera de oxígeno puro en un calorímetro, midiendo el rendimiento energético de esta combustión.

Al igual que la combustión ordinaria, el metabolismo de los alimentos requiere un suministro de oxígeno, y como producto de la combustión se libera dióxido de carbono. Para diversos alimentos se puede indicar un rendimiento representativo de energía, una cantidad de oxígeno requerida y la cantidad de dióxido de carbono que se espera liberar [29].

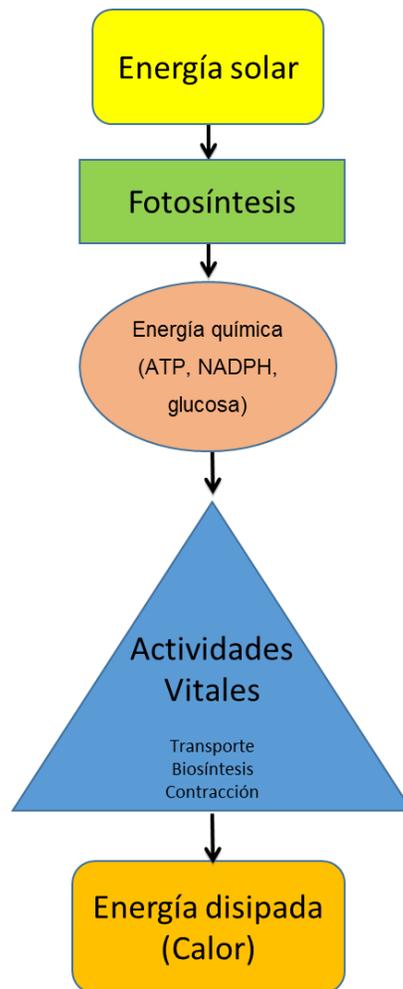
Figura 17. Energía total de los alimentos



(Fuente: "Tratado de nutrición" de Hernández, Sastre, Gallego).

- ✓ **Flujo de energía en la biosfera:** la energía solar es el origen de toda la energía celular. La glucosa y otros productos fotosintéticos son empleados por los vegetales y los animales en el suministro de energía para las actividades vitales de la célula. En último término, la energía solar se disipará en formas como calor. En la **Figura 18.** se muestra el flujo de energía de la biosfera.

Figura 18. Flujo de energía en la biosfera



(Fuente: *Biología Curtis*, 2007)

Se debe tener en cuenta que la cantidad de energía producida por los cuatro tipos de alimentos es más o menos proporcional a la cantidad de uso de oxígeno, de

modo que la tasa metabólica se puede medir mediante la medición de la tasa de consumo de oxígeno. Sin embargo, la cantidad de dióxido de carbono producido por los cuatro tipos de alimentos es diferente, por lo que la relación CO_2/O_2 proporciona información sobre el tipo de alimentación que se utilice. El promedio para los tres tipos de alimentos en la **tabla 4**. Es de 4,7 kcal de energía liberada por cada litro de oxígeno consumido. En promedio, un adulto en reposo consume unos 16 litros de oxígeno por hora. Esto da una tasa metabólica basal nominal de 75 kcal / h que se traduce en 87 vatios. Crucial para el proceso metabólico es la molécula de trifosfato de adenosina (ATP), considerado por los biólogos como la moneda de la energía de la vida. Casi todos los procesos en el cuerpo que utiliza la energía se obtienen a partir de ATP, y en el proceso se convierte en ADP. La energía de la oxidación de los alimentos (metabolismo) se utiliza para convertir el ADP de nuevo a ATP, por lo que esta es la energía disponible para los procesos del cuerpo. Una de las principales vías para la obtención de dicha energía es la oxidación de la glucosa. [30]

3.3.4.2 Transporte interno

3.3.4.3 Regulación

Los receptores sensoriales son terminaciones nerviosas especializadas, ubicadas en los órganos sensoriales (como la lengua, la piel, la nariz, los ojos, el oído, entre otros). Son los encargados de recibir el estímulo para llevar la información sensorial para producir una respuesta ya sea interna o externa, capaces de captar estímulos internos o externos y generar un impulso nervioso y sensaciones. Este impulso es transportado al sistema nervioso central y procesado en distintas áreas dentro de la corteza cerebral, para proporcionar al individuo información de las condiciones ambientales que lo rodean y generar una respuesta apropiada. Es decir, los receptores sensoriales son células nerviosas especializadas en transformar señales fisicoquímicas a señales eléctricas, convirtiendo la energía física en un potencial eléctrico mediante un proceso que se denomina transducción de señal.

Clasificación Fisionerviosa

Los receptores sensoriales se pueden clasificar según varios criterios fisionerviosos.

Por el tipo de estímulo:

- **Electrorreceptores o galvanorreceptores:** Son sensibles a corrientes o campos eléctricos.
- **Mecanorreceptores:** Diminutas células receptoras nerviosas, visibles rara vez bajo el Microscopio Electrónico de Barrido, y que poseen características sujetas a cambios de energía mecánica que provocan aceleración o diferencia del organismo en estudio; miden la compresión o el estiramiento mecánico del receptor o de tejidos contiguos al receptor. *Ejemplo:* Receptores auditivos, táctiles, vestibulares y articulares.
- **Fotorreceptores:** Diminuta unidad celular nerviosa capaz de detectar cambios en la energía electromagnética, es decir, la luz sobre la retina del ojo. *Ejemplo:* conos y bastones.
- **Termorreceptores:** Unidad micrométrica celular nerviosa casi invisible que recoge los cambios de temperatura. El tipo de célula sensorial son los Corpúsculos de Ruffini (calor) y Krause (frío):
- **Termorreceptores de calor:** Recoge la información relacionada al aumento de temperatura mayor a 0,1 °C (30-43)°C.
- **Termorreceptores de frío:** Recoge la información relacionada a la disminución de temperatura mayor a 0,1 °C (15-35) °C
- **Quimiorreceptores:** Unidad diminuta de células nerviosas que detecta la concentración de sustancias químicas, como el gusto (en la boca), el olor (en la nariz), la cantidad de oxígeno en la sangre arterial, la osmolaridad de los líquidos corporales, la concentración de dióxido de carbono y quizá otros factores que forman parte de la composición química del cuerpo.

- **Quimiorreceptores internos** (no conscientes): Receptores asociados a nivel del hipotálamo, tallo cerebral, sistema respiratorio y arco aórtico
- **Quimiorreceptores Externos:** Receptores gustativos y olfativos.
- **Nociceptores** (receptores de dolor): Detectan cambios a nivel químico, térmico y mecánico, asociado con daño celular, localizados en la piel, articulaciones, músculos y vísceras. No son adaptables.
- **Mecanonociceptocitos:** Nanounidad celular nerviosa que detecta estímulos violentos, cortantes de piel o cutis. Asociados a la fibra nerviosa del tipo A (mielinizada).
- **Nociceptores mecano-caloríficos:** Detectan cambios mecánicos y caloríficos mayores 43 °C. Asociada a fibras nerviosas del tipo A
- **Nociceptores mecano-frígidos:** Detectan cambios mecánicos y térmicos menores a 10 °C. Asociada a fibras nerviosas del tipo C.
- **Nociceptores polimodales:** Detectan cambios químicos, térmicos y mecánicos a la vez (de manera simultánea). Están asociados a fibras nerviosas del tipo C.

Por la procedencia del estímulo:

- **Externoceptocitos:** Nanounidad celular nerviosa que capta estímulos que proceden del medio externo, que van a estimular (activar) regiones más o menos superficiales del organismo. *Ejemplo:* Táctiles y auditivos.
- **Internoceptocitos:** Nanounidad celular nerviosa que detecta cambios en el medio interno, como presión arterial (sanguínea) y concentraciones de CO₂ y O₂.
- **Propioceptocitos:** Nanounidad celular nerviosa que detecta sensaciones de cambios de posición en el espacio. Se tienen los receptores vestibulares y husos neuromusculares.

Por adaptación:

- **Fásicocitos (rápida):** Envían información sobre el estímulo al inicio y al final. Son muy útiles frente a estímulos cambiantes (vibración y tacto en movimiento) y para conocer la duración y velocidad del estímulo. Es decir, son receptores para detectar aspectos dinámicos de estos. Ejemplo: Corpúsculos de Paccini.
- **Tónicocitos (lenta):** Envían información sobre el estímulo durante toda su duración, aunque este envío se va reduciendo conforme avanza el tiempo. Por un lado, permite conocer características del estímulo en sí; y por otro, confiere la capacidad de discriminación entre estímulos cercanos entre sí, como ocurre en el caso del braille. Ejemplo: Receptores de temperatura y dolor.

Por conexión con el Sistema Nervioso Central:

- **Primacitos:** Nanounidad celular nerviosa que utiliza una sola célula para detectar el estímulo y a la vez propagar el potencial nervioso. Aquí se tienen a los mecanorreceptocitos olfatorios y somáticos corporales presentes en toda la masa muscular.
- **Secundumcitos:** Nanounidad celular nerviosa que utilizan dos células, la primera detecta el estímulo y la segunda transmite el potencial (ambas células están interrelacionadas íntimamente). Ejemplo: conos y bastones.

Por su localización:

- **Coaxiocitos:** Nanounidad celular nerviosa que se encuentran en la superficie celular o en la parte externa de la membrana celular. Son los más

estudiados. Ejemplo: Receptores autónomos o vegetativos (sistema simpático y parasimpático)

- **Axiocitos:** Nanounidad celular nerviosa ubicados en la parte central. Ejemplo: los osmorreceptores, los termorreceptores (en el Hipotálamo). [31]

3.3.4.3.1 Órganos reguladores

- **El hígado:** Una de sus funciones es intervenir en el metabolismo de las grasas, sintetiza ácidos grasos, a partir de los aminoácidos y los azúcares, también produce colesterol, fosfolípidos y lipoproteínas, y oxida a las grasas para producir energía. Con respecto a los azúcares, el hígado produce una sustancia llamada GTF (factor de tolerancia a la glucosa), que junto con la insulina, regulan el nivel de azúcar en sangre. Los azúcares que no se necesitan para generar energía inmediata, se almacena en el hígado y en los músculos en forma de glucógeno, que se convertirá en energía cuando el organismo lo requiera. El exceso de calorías (alimentos) es convertido en grasas por el hígado, y transportadas al tejido graso corporal para ser almacenadas. Junto a los riñones el hígado, desintoxica al organismo de sus efectos tóxicos, como por ejemplo el amoníaco (sustancia que se produce por la digestión proteica y la fermentación bacteriana de los alimentos en el intestino). La glucosa que no es utilizada por el organismo pasa al hígado para ser almacenada [32].
- **El cerebro:** es un órgano sumamente importante del organismo, es denominado glucodependiente y por ello requiere de grandes cantidades de energía que le suministra la glucosa o en su defecto los cuerpos cetónicos para poder funcionar. El cerebro es el motor de procesamiento que tiene el cuerpo por excelencia, y responde a estímulos internos o externos que pueden activar acciones como consecuencia. A pesar de que su gasto energético es elevado

debido a que no puede suplirse de energía a partir de proteínas ni lípidos, su función neuronal se destaca en el trabajo que se ve relacionado con el desarrollo de actividades, ya que gracias a él y en conjunto con otros sistemas algunas glándulas (hipotálamo por ejemplo) pueden trabajar para regular el funcionamiento del cuerpo por medio de la producción y liberación de hormonas y sustancias que le permiten al cuerpo almacenar energía, como es el caso de la glucosa cuando se almacena en forma de glucagón en el hígado.

Varios centros neuronales del hipotálamo participan en el control de la ingestión de alimentos. Los núcleos laterales actúan como centro de la alimentación, los núcleos ventromediales sirven como centro de la saciedad, también los núcleos paraventriculares, dorsomediales y arqueados influyen en este control. Se ha demostrado que el hipotálamo detecta a través de las acciones de la leptina si aumenta la cantidad de tejido adiposo y así poder controlar la ingesta necesaria de alimentos para ser convertidos en energía.

El centro de regulación de la temperatura está situado en el hipotálamo que parece ser el integrador común de la información aferente y eferente. El hipotálamo no sólo es sensible a los impulsos neuronales eferentes, sino también directamente a las alteraciones térmicas [33].

3.3.4.4 Almacenamiento

La energía que se consume en forma de alimentos o bebidas puede ser almacenada en el organismo en forma de grasa (tejido adiposo que constituye la mayor reserva energética), glucógeno (energía a corto plazo disponible para la producción de ATP), o proteínas, esta reserva energética es usada por el organismo en situaciones que lo requieran para solventar las funciones del mismo. Si el cuerpo desea liberar la energía almacenada, necesita quemar más energía que la consumida en la ingesta de alimentos cada día.

- **El ATP:** La energía que está en el organismo para ser utilizada de forma inmediata es el **adenosín-trifosfato (ATP)**, una molécula compleja con enlaces ricos en energía que cuando se rompen por acción de las enzimas, pueden liberar energía rápidamente para ser utilizada en los distintos procesos metabólicos entre los que está la contracción de músculo. El ATP está clasificado como un compuesto rico en energía y se almacena en los tejidos en pequeñas cantidades. Es importante decir que el ATP es una fuente inmediata de energía para todas las funciones del organismo, mientras que el resto de las reservas energéticas se utiliza para proporcionar un reabastecimiento de ATP a diferentes ritmos.

Otra sustancia es la **fosfo-creatina (PC)** (fosfato de creatina) se encuentra así mismo en los tejidos en cantidades pequeñas. Aunque no se puede usar como fuente inmediata de energía, sirve para sintetizar rápidamente nuevas moléculas de ATP. La energía almacenada en los enlaces de fosfato se libera a través de un proceso catabólico. El catabolismo es un tipo de metabolismo que consiste en la transformación de una molécula compleja en otras más sencillas con liberación de energía. Este es el caso del ATP, el cual tiende a liberar su grupo fosfato para transformarse en ADP. De esta forma el ATP libera energía transformándose en $ADP + P + E^\circ$.

La reacción de formación del ATP recibe el nombre de *reacción de Lohmann* y está descrita en la **ecuación 25**.



Este proceso ocurre en la mitocondria que es el organelo celular que se caracteriza por la producción de energía. [5]

El ATP requerido por la célula es sintetizado a partir de los alimentos y la luz. Mediante un conjunto de reacciones, que tienen lugar en el citoplasma, las células pueden derivar un 10% de la energía disponible a partir de la degradación parcial de los azúcares y las grasas. Sin embargo, la vida exige mucho más que eso. Las mitocondrias y los organelos cloroplastos altamente especializados disponen de una forma más eficaz de obtener energía útil, desde un punto de vista biológico. Las mitocondrias, las cuales están presentes en prácticamente la totalidad de organismos (animales, hongos, plantas) actúan a modo de “*motor de combustión*” que utiliza el oxígeno para quemar completamente los azúcares y las grasas. Este proceso se asemeja a un tipo de máquina que obtiene energía mecánica directamente de la energía química de un combustible que arde dentro de la cámara de combustión. Su nombre se debe a que dicha combustión se produce dentro de la propia máquina, a diferencia de, por ejemplo, la máquina de vapor. En este caso la mitocondria está al interior celular.

Por otro lado, los cloroplastos solo se encuentran en las células de las plantas y actúan a modo de “*paneles solares*” que utilizan la energía de la luz. Se trata, por decirlo de algún modo, de una forma limpia de obtener energía, en la que el dióxido de carbono (CO_2) es utilizado para producir oxígeno y ATP. De esta forma, las plantas no solo producen la energía que necesitan, sino que además juegan un importante papel en el ciclo del CO_2 y del oxígeno de la atmósfera.

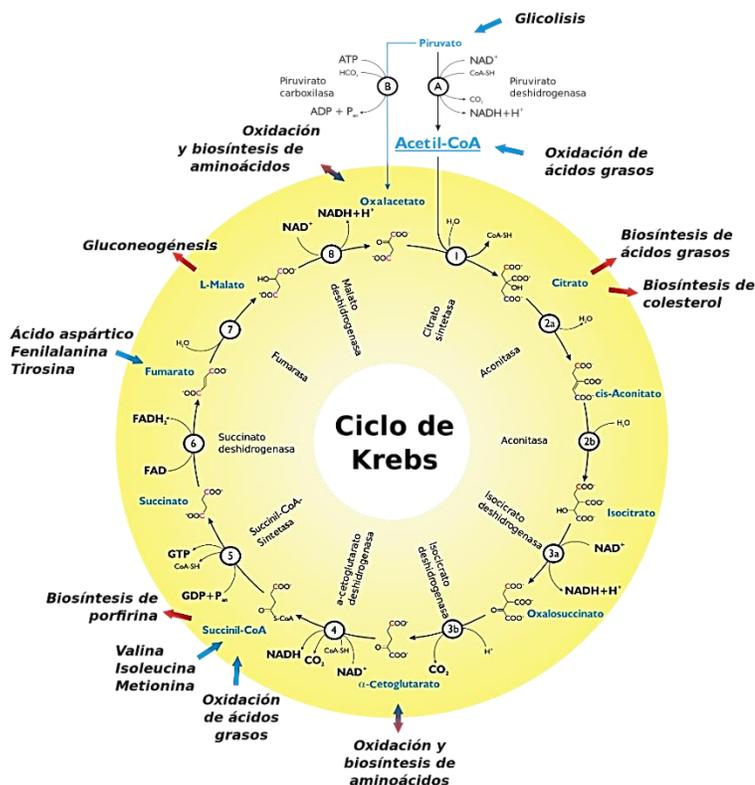
Las reservas de ATP en el organismo no exceden de unos pocos segundos de consumo. En principio, el ATP se produce de forma continua, pero cualquier proceso que bloquee su producción provoca la muerte rápida (como es el caso de determinados gases de combate diseñados para tal fin; o venenos como el cianuro, que bloquean la cadena respiratoria; o el arsénico, que sustituye el fósforo y hace que sean inutilizables las moléculas fosfóricas).

Las moléculas de creatina enlazan un fosfato mediante un enlace rico en energía como el ATP. El ADP puede convertirse en ATP por acoplamiento con la hidrólisis de fosfato de creatina. La creatina, por tanto, recicla el fosfato liberado por la hidrólisis de la molécula de ATP original. Esto ayuda a mantener la energía fácilmente movilizadada sin agotar las reservas de ATP.

El ATP no se puede almacenar en su estado natural, sino sólo como intermediarios de la cadena de producción de ATP. Por ejemplo, el glucógeno puede ser convertido en glucosa y aportar combustible a la glucólisis si el organismo necesita más ATP. El equivalente vegetal del glucógeno es el almidón. La energía puede también ser almacenada como grasa, mediante neo-síntesis de ácidos grasos. [7]

✓ **Oxidación Biológica:** los procesos bioenergéticos que conducen a la síntesis de ATP o carga de los acumuladores biológicos sucede en las mitocondrias, allí están localizados y organizados los sistemas moleculares responsables de la energética de los organismos vivos. La síntesis del ATP en las mitocondrias está conjugada con el transporte electrónico e iónico y los fenómenos mecanoquímicos. La fuente de energía gastada por la célula para todas sus necesidades es la respiración, es decir, la oxidación de los compuestos orgánicos por el oxígeno del aire. El oxígeno que es el aceptor último de electrones para los organismos aerobios, es un oxidante potente y tiene una intensa tendencia a atraer electrones, quedando reducido en el proceso. Mediante reacciones químicas de oxidación, el organismo obtiene energía a partir de determinados combustibles o sustancias oxidables de los alimentos, como las grasas, los carbohidratos y las proteínas. Ellas se desintegran, es decir se hidrolizan en reacciones que son catalizadas por fermentos especiales. Las sustancias obtenidas sufren transformaciones sucesivas en un sistema cíclico de reacciones llamado ciclo del ácido cítrico (o ciclo de ácidos tricarbónicos) o el **Ciclo de Krebs (Figura 19)**.

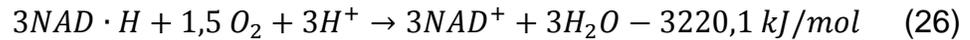
Figura 19. Ciclo de Krebs



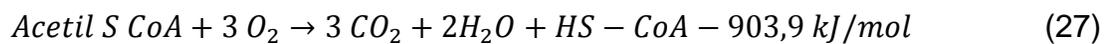
(Fuente: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ciclo_de_Krebs-es.svg)

El sistema cíclico de reacciones está ubicado en la mitocondria y de allí parten los caminos de muchas reacciones biosintéticas, la síntesis de hidratos de carbono, lípidos, purinas, pirimidinas y porfirinas al igual que la síntesis de proteínas. Al mismo tiempo la oxidación biológica sirve de fuente de energía, almacenada en el ATP. En las oxidaciones biológicas, las reacciones de oxidación se producen sin que haya un aumento importante de la temperatura y con la captura de parte de la energía libre en forma de energía química. Esta captura de energía se produce en gran parte a través de la síntesis de ATP, el cual proporciona energía para el trabajo biológico. La hidrólisis del ATP a ADP + Pi proporciona energía a muchos procesos fisiológicos endergónicos esenciales. [34]

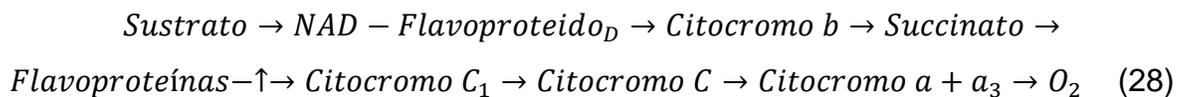
La oxidación se realiza con el conjunto de transportadores de electrones que forma la cadena respiratoria o la **cadena de transporte de electrones CTE** representadas en las ecuaciones siguientes:



La reacción acetil-CoA tiene la forma:



La CTE es un sistema polifermentativo que acepta electrones del ciclo de Krebs y del ciclo de oxidación de los ácidos grasos. El electrón se transporta por la cadena

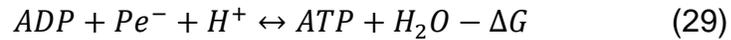


El transporte de electrones en la cadena expuesta se efectúa de izquierda a derecha, terminando por la reducción del oxígeno, que se une con H⁺ y forma agua. El electrón liberado durante la oxidación se une al eslabón siguiente de la cadena. El transporte de electrones va acompañado de un cambio de la energía libre, ya que los electrones se desplazan en cascada según los potenciales crecientes de óxido-reducción.

El transporte de electrones va conjugado con el almacenamiento de energía en las moléculas de ATP. En otras palabras, la energía libre liberada se convierte en energía química del ATP.

Para la regeneración de ATP, existe una fuente primordial que forma parte de su conservación, la **fosforilación oxidativa** (ecuación 29); la energía libre que

conduce a ésta, procede de la oxidación de la cadena respiratoria dentro de las mitocondrias en las células.



En la ecuación 29 se presenta una conjugación de la oxidación con la fosforilación en donde el cambio de energía libre es igual a:

$$\Delta G = \Delta G_o + RT \ln \frac{[ADP][H_2PO_4^{-}][H^{+}]}{[ATP][H_2O]} \quad (30)$$

Donde

$$\Delta G_o = -RT \ln K \approx 30,7 \text{ kJ/mol} \quad (31)$$

K es la constante de equilibrio para las concentraciones de 0,1 M, pH 7,0, 25°C. Durante los cambios del pH y de fuerza iónica ΔG_o varía. [5]

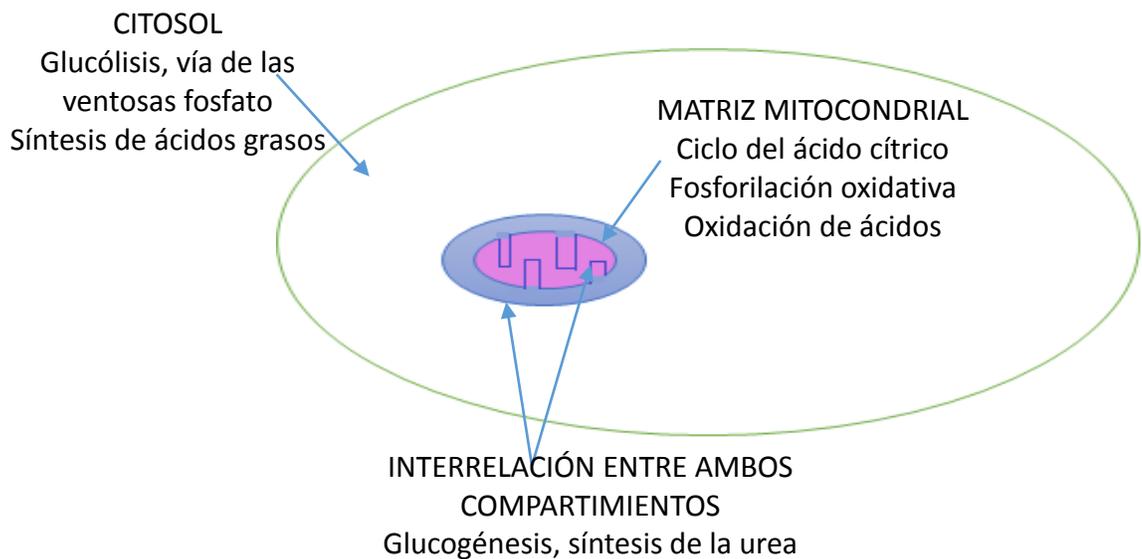
El cambio de la energía libre durante el transporte de los equivalentes electrónicos por la CTE desde NaD.H hasta O₂, se determina por la diferencia de los potenciales de óxido-reducción 0,82-(-0,32)=1,14(V), es decir $\Delta G = -2 \times 23,06 \times 4,79 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} = -221,3 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$

En cuanto a la pauta metabólica de las células eucarióticas, la glucólisis, la vía de las pentosas fosfato y la síntesis de los ácidos grasos, tienen lugar en el citosol celular, mientras que la oxidación de los ácidos grasos, el ciclo del ácido cítrico y la ya mencionada fosforilación oxidativa, se realizan en la mitocondria. **(Figura 20)**.

El destino de determinadas moléculas depende de si están en el citosol o en la mitocondria, de modo que con frecuencia su flujo viene regulado a través de la

membrana interna mitocondrial. Por ejemplo, los ácidos grasos transportados al interior de la mitocondria para su oxidación, se degradan rápidamente, a diferencia de los ácidos grasos sintetizados en el citosol; que son esterificados o excretados. A propósito de la oxidación, cada paso de ésta comprende derivados de acil-CoA catalizados por enzimas separadas, también utilizan NAD^+ y FAD como coenzimas y generan ATP.

Figura 20. Interrelación entre la mitocondria y el citosol en la célula



(Fuente: Autor)

- **Tejido adiposo:** El tejido adiposo es una variedad especializada de tejido conjuntivo; integrado por un grupo de células denominadas adipocitos o células adiposas, especializadas en almacenar grasas o lípidos, sustancias consideradas como la fuente de reserva de energía química más importante de un organismo animal. La glucosa que no logra ser almacenada por el hígado forma parte del tejido adiposo y se convierte en reserva energética para el organismo. Además la hidrólisis de triglicéridos en ácidos grasos y glicerol es la primera etapa de conversión de las grasas en energía.

- **Demás tejidos:** aunque el principal almacenador es el tejido adiposo, el cuerpo humano presenta almacenamiento de energía en otros tejidos como: el tejido muscular, los huesos y la piel.

3.3.4.5 Aprovechamiento y eficiencia

3.3.4.5.1 Aprovechamiento

El cuerpo humano aprovecha la energía generalmente en la realización de trabajo mecánico que constituye un trabajo útil para el organismo y en todos los procesos que comprenden el metabolismo energético. Es preciso describir en detalle ambos procesos. El trabajo mecánico es realizado por el sistema locomotor del ser humano que constituye una estructura que desde el punto de vista mecánico está conformado por unidades contráctiles (los músculos) que ejercen fuerzas de tracción mediante cuerdas (los tendones) sobre un sistema de palancas articuladas (los huesos y articulaciones). El aparato locomotor, que está compuesto por huesos, articulaciones y músculos, tiene a estos últimos como elemento activo. Por tanto son los músculos los encargados de generar el movimiento; para ello, la célula muscular está especializada en la conversión de energía química en energía mecánica, en lo que supone el metabolismo energético.

Para ello debe utilizar con efectividad la energía almacenada en la molécula de ATP, y sobre todo tener muy desarrollados los mecanismos destinados a la síntesis del ATP para poder volver a utilizarlo, ya que es sólo la descomposición del ATP lo que va a dar lugar a la energía necesaria para la contracción muscular.

3.3.4.5.1.1 Utilización de la energía libre por el organismo

La mayoría de los procesos orgánicos tienen lugar a presión y temperatura constantes. En consecuencia la variación de energía libre juega un papel muy importante en tales procesos. Algunos ejemplos de este tipo de procesos pueden ser el trabajo muscular (descrito más adelante) que se realiza con disminución de energía libre y constituye un trabajo útil. La formación de orina concentrada que se produce en el riñón ocurre con un aumento de energía libre ya que lleva especies químicas de una solución de concentración menor a una mayor. Otro ejemplo claro es la síntesis de proteínas y esta va acompañada de un aumento de energía libre. [35]

- **Fuentes de energía libre**

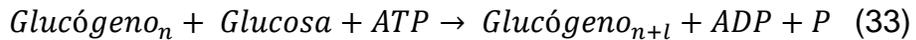
El saldo de energía libre de las reacciones que acontecen en el organismo es negativo. En función de esto el ser humano debe proveerse de sustancias capaces de sufrir transformaciones con disminución de energía libre, es decir sustancias de alto contenido energético. Existen dos caminos empleados por el organismo para obtener energía: formándolas el mismo o ingiriéndolas del exterior. En el primer caso solo es posible a expensas de reacciones acopladas y las sustancias necesarias para ello provienen del exterior y son los organismos autótrofos. Estos pueden formar sustancias a través de reacciones endergónicas, gracias al aprovechamiento de la energía solar. [36]

- **Acoplamiento de reacciones**

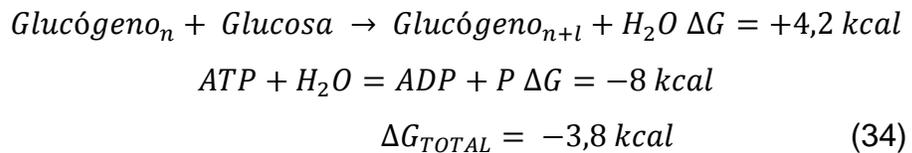
La formación de glucógeno a partir de la reacción de la glucosa ocurre con aumento de energía libre de 4.2 kcal/mol. La ecuación describe la reacción:



En las condiciones del organismo (presi3n y temperatura constantes y sin trabajo 3til) ser3a imposible que esta reacci3n se produjese, pero ocurre acompa3ada de otros procesos que se representan de la siguiente manera.



Como la energ3a libre es una funci3n de estado, es posible descomponer esta transformaci3n en dos pasos (aunque estos sean te3ricos), siempre que los estados final e inicial del sistema sean los mismos que los reales. La variaci3n de energ3a libre correspondiente a cada paso y la variaci3n total de ambos est3 dada por:



En la **ecuaci3n 35**. Es posible analizar que el proceso total va acompa3ado de una disminuci3n de energ3a libre y por lo tanto, puede ocurrir en las condiciones del organismo. En este caso es claro que las reacciones son acopladas.

En general, cada vez que en el organismo debe producirse una transformaci3n con ganancia de energ3a libre, se acoplan las reacciones correspondientes a otra u otras que ocurren con perdida mayor, de modo que el saldo total es siempre negativo.

3.3.4.5.1.2 Trabajo muscular

El trabajo que realiza el m3sculo por unidad de secci3n es una magnitud que se obtiene multiplicando la tensi3n (fuerza por unidad de secci3n) por el desplazamiento de su punto de aplicaci3n. Este trabajo es un trabajo de tracci3n.

Debido a que la tensión a la que son sometidas las fibras musculares en su deformación o cambio de longitud ($\Delta L = L_A - L_B$) no es constante sino que se modifica, el trabajo puede ser calculado a partir de la siguiente expresión,

$$W_\sigma = \int_{l_B}^{l_A} \sigma \cdot dl \quad (35)$$

- ✓ **Ejercicio aeróbico** El ejercicio aeróbico requiere grandes cantidades de oxígeno y se logra a través de un ejercicio extenuante sostenido. Durante este tipo de ejercicio, como correr varios kilómetros, el cuerpo va a recurrir primero a los azúcares en la sangre. Una vez que estos azúcares, como la glucosa, se han agotado, comienza la liberación de energía del cuerpo que se almacena en la grasa, siempre y cuando continúe para alimentar el cuerpo con grandes cantidades de oxígeno.

- ✓ **Ejercicio anaeróbico** El ejercicio anaeróbico es de corta duración y requiere poco oxígeno para llevarse a cabo. Ejemplo de este puede ser el levantamiento de pesas que constituye un ejercicio de corta duración y permite que los músculos completen los movimientos sin oxígeno. En cambio, los músculos usan la glucosa, o azúcar, en el torrente sanguíneo. Esta glucosa se crea en el hígado debido a que el hígado convierte los carbohidratos para mantener los niveles de azúcar en la sangre almacenada. Con este tipo de ejercicio con menos oxígeno es posible liberar su energía de los carbohidratos almacenados.

Los principales nutrientes y el oxígeno son transportados a las células para la producción de energía. En los músculos el ATP es la fuente inmediata de energía para la contracción muscular.

- El sistema ATP-PC lo constituyen las reservas musculares de ATP y fosfocreatina. (**ecuación 29.**)
- La glucosa o el glucógeno muscular pueden producir ATP rápidamente a través del sistema de ácido láctico.
- El sistema aerobio puede producir grandes cantidades de ATP mediante los procesos aerobios del Ciclo de Krebs. Existen muchas más formas de producir energía a través de hidratos de carbono, lípidos y proteínas.

3.3.4.5.1.3 Metabolismo energético

La energía consumida en forma de alimentos es requerida por el organismo para el trabajo metabólico, celular y mecánico como la respiración, el latido cardiaco y el trabajo muscular, que requieren energía y dan como resultado la producción de calor, el organismo requiere energía para gran variedad de funciones. La mayor parte de la energía se necesita como combustible en el metabolismo basal (MB), que es la energía gastada por el organismo para mantener las funciones fisiológicas basales. Después del suministro de agua, el primer requerimiento del cuerpo es de combustibles metabólicos: grasas, carbohidratos, aminoácidos provenientes de proteínas.

Cuando la ingestión de alimentos es mayor que el gasto de energía en organismos sanos esto conlleva a la obesidad, mientras que la ingestión menor que el gasto de energía lleva al déficit, emaciación o marasmo. Tanto la obesidad como la ingesta insuficiente se relacionan con el aumento de la mortalidad de los seres humanos. Los requerimientos de energía aumentan con la actividad física realizada por el organismo. La manera más útil de expresar el costo de energía de las actividades físicas es como un múltiplo de la tasa metabólica basal (BMR Basal Metabolic Rate). Las actividades sedentarias solo usan alrededor de 1.1 a 1.2 x BMR. En contraste, el esfuerzo vigoroso, como subir escaleras, caminar en ascenso cuesta arriba, entre

otros, puede usar un índice de 6 a 8 x BMR. Un 10% del rendimiento de energía de una comida puede gastarse en la formación de reservas.

Después de una comida hay un aumento considerable del índice metabólico (termogénesis inducida por la dieta). Una pequeña parte de esto es el costo de energía de la secreción de enzimas digestivas y del transporte activo de los productos de la digestión: la parte principal es el resultado de sintetizar reservas de glucógeno, triacilglicerol y proteína. El organismo humano en su etapa de aprovechamiento de la energía es totalmente sistemático, tal como una maquina casi perfecta de aprovechamiento de la energía, por ejemplo en los casos de insuficiencia energética (desnutrición) se presentan dos formas de extrema nutrición insuficiente. El marasmo puede ocurrir tanto en adultos como en niños y se encuentra en grupos vulnerables de todas las poblaciones.

El Kwashiorkor afecta a niños y solo se ha reportado en países en desarrollo. La característica distintiva del Kwashiorkor es que hay retención de líquido, que lleva a edema e infiltración grasa del hígado. El marasmo es un estado de emaciación extrema; es el resultado de balance negativo de energía durante un periodo prolongado. No sólo las reservas de grasa del cuerpo se han agotado, sino que también hay emaciación de músculo, y a medida que progresa el estado hay pérdida de proteína del corazón, el hígado y los riñones. Los aminoácidos liberados por el catabolismo de proteínas hísticas se usan como una fuente de combustible metabólico y como sustratos para la gluconeogénesis a fin de mantener un aporte de glucosa para el cerebro y los eritrocitos. Como resultado de la síntesis reducida de proteínas, hay alteración de la respuesta inmunitaria y más riesgo de infecciones. Ocurre además deterioro de la proliferación celular en la mucosa intestinal, lo que da por resultado disminución de la superficie de la mucosa intestinal y reducción de la absorción de tantos nutrientes como estén disponibles. El principio fundamental del equilibrio energético es:

**Cambios en las reservas energéticas (grasa) = ingesta energética
(calorías) – gasto energético (calorías)**

El consumo humano medio anual, de un adulto se aproxima al millón de calorías (4.000 MJ). A pesar de esta enorme ingesta energética la mayor parte de los individuos sanos son capaces de consumir un balance aceptable entre energía consumida y la gastada, resultado un estado de equilibrio energético. Este preciso balance entre ingesta y gasto energético es un ejemplo de regulación homeostática y su resultado es el mantenimiento del peso y de las reservas energéticas corporales. Esta regulación del balance energético se mantiene durante largos periodos de tiempo, a pesar de las grandes fluctuaciones tanto en la ingesta energética como en el gasto energético diarios. La exactitud y precisión con las que el organismo mantiene el balance energético destaca de hecho que incluso un pequeño error en el sistema puede tener consecuencias indeseables a largo plazo. Si la ingesta energética excede de manera crónica el gasto energético tan poco como 105 kJ/día, a lo largo del tiempo, una persona llegará a ser obesa. La consecución del equilibrio energético se rige por la primera ley de la termodinámica. Este principio implica que cuando la ingesta de energía se iguala con el gasto, los depósitos de energía corporales deben permanecer constante. [37]

3.3.4.5.1.4 Procesos de termorregulación

Las transformaciones químicas que forman parte de los procesos biológicos del ser humano dependen en alto grado de la temperatura. Uno de los desafíos a los que más se ha tenido que enfrentar el organismo humano es a los cambios intensos de temperatura. Teniendo en cuenta lo anterior es posible mencionar cómo funciona el aislamiento térmico en el cuerpo humano, tanto en situaciones de calor como en las de frío.

La evaporación representa la principal fuente de protección del ser humano frente al calor y se debe a la liberación de calor del cuerpo por sudoración y por la respiración. La sudoración se presenta cuando se evapora el sudor depositado sobre la piel, se toma energía de ésta descendiendo su temperatura y liberando calor al exterior; a esto debe añadirse que para mantener estable y constante la temperatura también influyen factores como el flujo sanguíneo y el calor metabólico, que varían de un individuo a otro. Entonces, se puede decir que el tejido adiposo aparte de cumplir una función estructural manteniendo algunos órganos en su posición, y protegiéndolos de traumas graves; también puede resultar siendo un buen aislante térmico debido a la gruesa capa que conforma revistiendo la parte interna de la piel y a que está constituida por lípidos que tienen dicha propiedad aislante tanto térmica como mecánica. Los procesos de termorregulación están presentes en el organismo debido que el ser humano es un animal homeotermo que en condiciones fisiológicas normales debe mantener una temperatura corporal constante y dentro de unos límites muy estrechos, ya que cualquier variación podría causar una alteración en el funcionamiento de los sistemas, y pueden llevar al individuo a la muerte, por desnaturalización proteica, hipotermia, deshidratación, entre otros. Para que la temperatura no varíe extremadamente se llevan a cabo procesos en el cuerpo, una serie de mecanismos que favorecen el equilibrio entre los que facilitan la producción de calor (metabolismo celular, consumo de alimentos, trabajo muscular) y los que consiguen la pérdida del mismo (Radiación, conducción, convección, evaporación). [38]

El centro regulador de la temperatura está en el hipotálamo, que recibe la información de los termorreceptores situados en la piel y en ciertas estructuras internas, como el mismo hipotálamo. Las fibras nerviosas simpáticas comunican a ciertos efectores muchas de las respuestas que se elaboran en el hipotálamo tendientes a controlar la temperatura: vasoconstricción periférica, erección del pelaje, termogénesis no tiritante o sudoración. La termogénesis tiritante está mediada por motoneuronas que pueden tener además control voluntario. En el ser

humano, la ruta hormonal desempeña un papel secundario (en otros animales, sin embargo, es la vía principal en la regulación de la temperatura).

La hormona liberadora de la tirotrófina –TRH– es segregada por el hipotálamo y estimula a la hipófisis a fabricar la hormona estimulante del tiroides –TSH–. Esta hormona estimula a la tiroides, que sintetiza así las hormonas triyodotironina (T3) y tiroxina (T4). Estas hormonas tiroideas estimulan el metabolismo energético celular al actuar directamente sobre las mitocondrias. Cuando un animal termorregulador homeotermo como el hombre enfrenta temperaturas frías, el gradiente térmico aumenta y se disipa más calor corporal. La disminución de la temperatura corporal desencadena cambios en la circulación sanguínea y en la piloerección (Cuando estos músculos se contraen en respuesta al frío, mueven al pelo y lo colocan en una posición más vertical al mismo tiempo que deprimen la piel en su zona de inserción “la llamada piel de gallina”). Estos cambios reducen la conductancia térmica y restablecen la temperatura corporal al valor de referencia hipotalámico.

Numerosas especies de termorreguladores homeotermos presentan cambios estacionales del plumaje o el pelaje, que aumentan el aislamiento térmico durante la estación más fría del año. La capa de grasa subcutánea también puede sufrir cambios estacionales. Las respuestas comportamentales constituyen otra alternativa a los cambios externos de temperatura.

Si la disminución de la temperatura corporal es muy pronunciada, el organismo responde activamente y aumenta la producción de calor. Este aumento puede producirse por la contracción de músculos esqueléticos antagónicos que liberan calor (termogénesis tiritante) o mediante el aumento de la tasa metabólica en otros tejidos (termogénesis no tiritante). Además, una secreción mayor de ciertas hormonas, principalmente las tiroideas, produce un aumento de la tasa metabólica en numerosos tejidos. [28]

Cuando la temperatura ambiente se acerca a la corporal, aumenta el flujo de sangre hacia la superficie del organismo. Esto permite aumentar la conductancia térmica y favorece la disipación pasiva de calor. Si la temperatura ambiente es mayor que la corporal, el gradiente térmico se hace negativo y al calor metabólico se le suma el calor que ingresa en el organismo.

- ✓ **Mecanismos de producción de calor:** Si la temperatura ambiente es baja o algún factor causa una disminución de la temperatura corporal, se estimulan los termorreceptores que envían estímulos nerviosos al centro de control hipotalámico. Como consecuencia, se activa el centro promotor de calor que descarga impulsos nerviosos para poner en marcha varias respuestas dirigidas a elevar la temperatura corporal y llevarla a niveles normales.
 - a. **Vasoconstricción:** Los impulsos procedentes del centro promotor de calor estimulan nervios simpáticos que provocan constricción de los vasos de la dermis de modo que disminuye el flujo de sangre caliente desde los órganos internos a la piel y, por tanto, se conserva el calor en el organismo.
 - b. **Estímulo simpático del metabolismo corporal.** El centro promotor de calor estimula nervios simpáticos que actúan sobre la médula adrenal, lo que origina que ésta secrete norepinefrina (noradrenalina) y epinefrina (adrenalina) a la sangre. Estas hormonas producen un incremento del metabolismo celular, una reacción que produce calor.
 - c. **Músculos esqueléticos.** La estimulación del centro promotor de calor causa estimulación de zonas del cerebro que incrementan la contracción muscular y, con ello, la producción de calor. Constituyen los escalofríos. Durante la fase máxima de escalofríos, la producción de calor por el organismo puede subir a 4 veces lo normal en pocos minutos.
 - d. **Estímulo tiroideo del metabolismo corporal.** Una temperatura ambiente fría incrementa la liberación por la glándula tiroides, de hormonas tiroideas

a la sangre. Las hormonas tiroideas incrementan el metabolismo celular, contribuyendo a aumentar la temperatura corporal.

- ✓ **Mecanismos de pérdida de calor** El calor del cuerpo se pierde por radiación, convección, conducción y evaporación. Si la temperatura corporal sube por encima de lo normal, se estimulan los termorreceptores que envían estímulos nerviosos al centro de control hipotalámico. Éste, a su vez, activa el centro perdedor de calor que, entonces, inhibe al centro promotor de calor con lo que se producen los fenómenos opuestos a la producción de calor. Los vasos sanguíneos de la dermis se dilatan con lo que la piel se calienta y el exceso de calor se pierde al medio ambiente a medida que un mayor volumen de sangre fluye desde el interior del cuerpo a la piel. Al mismo tiempo, el metabolismo celular disminuye y los músculos permanecen relajados. Las glándulas sudoríparas producen sudoración y, a medida que el agua del sudor se evapora de la superficie de la piel, la piel se enfría. Todas estas respuestas disminuyen la temperatura corporal y la llevan a niveles normales. [39]

3.3.4.5.2 Eficiencia

La energía libre de la hidrólisis del ATP es aprovechada por el mecanismo contráctil con una eficiencia del orden del 90% pero durante la contracción se producen otros procesos, como el transporte activo de calcio por el retículo sarcoplásmico, que ocurren con una eficiencia de sólo el 50% y que no se traducen precisamente en trabajo mecánico.

Como resultado de estas y otras pérdidas, la máxima eficiencia que el músculo logra es del orden del 20% para acortamientos tetánicos breves. En sacudida simple es aún menor porque se pierde mucha energía libre en trabajo interno.

La eficiencia de un sistema acoplado como el organismo humano es igual al cociente entre la ganancia de energía libre propia de la primera reacción y la pérdida de la segunda correspondientes a las reacciones acopladas [36]. En el caso de las reacciones de la **ecuación 35** descritas anteriormente la eficiencia es:

$$E = \frac{4,2 \text{ kcal/mol}}{8 \text{ Kcal/mol}} = 0,525 \quad (36)$$

En general, la eficiencia representa la fracción de energía libre aprovechada. Si dicha fracción fue empleada en trabajo útil, la eficiencia viene dada por:

$$E = \frac{W_{\text{útil}}}{-\Delta G} \quad (37)$$

3.3.4.5.2.1 Tasa Metabólica Basal BMR

La cantidad de energía liberada por el cuerpo por unidad de tiempo es una medida de la tasa metabólica. Una gran parte de energía consumida por el cuerpo finalmente es convertida en calor. La tasa metabólica puede expresarse en kilocalorías de energía calorífica consumidas al día o con un porcentaje por encima o por debajo por el nivel normal.

La temperatura corporal normalmente cambia a lo largo del día, esto debido al cambio del metabolismo del organismo. Esta permite evaluar la eficiencia de la regulación térmica que se presenta en el cuerpo humano en función de los cambios en la temperatura ambiental y la intensidad de la actividad realizada y depende de las condiciones de temperatura ambiental y de actividad física, ya que de la energía total liberada durante el metabolismo se emplea aproximadamente una quinta parte en el trabajo y lo demás se libera en forma de calor; este calor debe ser disipado para mantener las condiciones de temperatura adecuadas en el cuerpo humano. Hay dos tipos de temperaturas, la temperatura central (núcleo: cerebro, grandes

vasos, vísceras, músculo profundo, sangre) se mantiene constante y la temperatura periférica (piel, mucosas, músculos, extremidades, etc.) es variable. La temperatura normal del cuerpo de una persona varía dependiendo de su género, su actividad reciente, el consumo de alimentos y líquidos, la hora del día y, en las mujeres, de la fase del ciclo menstrual en la que se encuentren.

La temperatura normal del cuerpo varía según la persona, la edad, la actividad y la hora del día. La temperatura corporal normal promedio, de acuerdo a la Asociación Médica Americana (American Medical Association) es de $98,6^{\circ} F$ ($37^{\circ} C$). Algunos estudios han demostrado que la temperatura "normal" del cuerpo puede tener una amplia gama, desde $97^{\circ} F$ ($36,1^{\circ} C$) a $99^{\circ} F$ ($37,2^{\circ} C$). Esta aumenta lentamente a lo largo del día, hasta alcanzar un máximo de $37,2^{\circ} C$ (algo más en algunas personas) entre las 6 y las 10 de la tarde, y desciende lentamente hasta un mínimo a las 2-4 de la madrugada. La temperatura es más lábil en lactantes, y con el ejercicio físico intenso suelen producirse grandes subidas de la misma.

Una temperatura por encima de $100,4^{\circ} F$ ($38^{\circ} C$) a menudo significa que usted tiene una fiebre causada por una infección o una enfermedad. [40]

El organismo humano es homeotermo, lo cual significa que para mantener una forma constante la temperatura corporal dentro de unos límites tan estrechos (de 36 a $37^{\circ} C$), necesita, ante elevaciones importantes de la temperatura exterior, poner en marcha una serie de mecanismos de termorregulación.

Ante un ejercicio muscular intenso se producen importantes cambios fisiológicos encaminados a disminuir la temperatura corporal y que consisten en una redistribución sanguínea hacia la piel (con pérdida de calor al exterior) y los músculos, con sobrecarga circulatoria y aumento de la frecuencia cardiaca; de la misma manera, ante un ambiente exterior frío se produce un aumento del flujo sanguíneo a través de la piel con pérdida de calor. Sin embargo, si la temperatura

ambiental es igual o superior a la corporal, el único medio para disminuir la temperatura corporal es la evaporación por el sudor. El objetivo fundamental es que el organismo trata de refrigerarse en dichas circunstancias.

El sistema de termorregulación depende fundamentalmente de varios factores:

- ✓ La constitución del individuo, sobre todo, del grado de obesidad.
- ✓ La edad, siendo peor en ancianos y en lecho de enfermo.
- ✓ El entrenamiento del sujeto al calor: Adaptación conocida como aclimatación.
- ✓ El grado de humedad atmosférico: A más humedad aumenta la dificultad para absorber la sudoración producida.
- ✓ El viento: Al disminuir la aireación se dificulta la evaporación del sudor.
- ✓ La vestimenta: más perjudiciales las oscuras y gruesas.
- ✓ La existencia de enfermedades que dificultan la sudoración: diabetes, alteraciones cardíacas, pulmonares y renales.
- ✓ Enfermedades que cursan con aumento de la producción de calor: infecciones, hipertiroidismo y aquellas que se acompañan de fiebre.
- ✓ Consumo de ciertos fármacos: sedantes, anfetaminas y antidepresivos, fundamentalmente.
- ✓ Psicopatías y estados de etilismo agudo o crónico que disminuyen la tolerancia al calor excesivo.

El control de temperatura del cuerpo humano se da en el centro de control de temperatura está en el hipotálamo, donde se recibe, interpreta, procesa y emiten instrucciones para conservar y regular la función energética del organismo, resultado de fenómenos de combustión interna de elementos y su relación con la actividad corporal y medio ambiente. Este proceso de regulación térmica se cumple en tres etapas:

- **Detección térmica aferente.** Al hipotálamo llega información proveniente de sensores de temperatura ubicados en el organismo de acuerdo al calor o frío.

Detectores de calor: Se encuentran concentrados en las vísceras abdominales y médula espinal; están encargados de vigilar básicamente las partes internas y profundas del organismo, siendo activados por la temperatura de la sangre que los irriga. Sus impulsos comienzan a llegar al sistema nervioso central (SNC) por intermedio de las fibras C, en un rango de detección que va desde aproximadamente 32°C a 40°C .

Los sensores de frío: Se encuentran vigilando el impacto del medio ambiente exterior sobre el cuerpo (piel); se activan alrededor de los 40°C y su nivel máximo de emisión está aproximadamente a 27°C , sus impulsos llegan al SNC a través de las fibras nerviosas A-delta.

- **Regulación central.** De acuerdo a la información recibida, en el centro de control térmico y energético del hipotálamo se analizan los datos, incluso información cerebral para la ideal respuesta del programa termorregulador para mantener el punto set (37°C temperatura corporal) con un límite ínter umbral que está alrededor de $0,5^{\circ}\text{C}$ en condiciones normales, llegando a variar hasta $3,5^{\circ}\text{C}$ bajo influencia de fármacos como anestésicos, función tiroidea, ingestión de alimentos, ritmo circadiano, incluso adaptación al calor y frío.
- **Respuesta eferente.** El centro de control en el hipotálamo envía órdenes hacia los diferentes puntos del organismo con el fin de favorecer o luchar contra las condiciones fuera del punto set. Para mantener constante la temperatura del cuerpo, el organismo utiliza fundamentalmente dos sistemas.

Vasodilatación: Regulado por el hipotálamo, consiste en aumentar el riego sanguíneo en determinadas zonas, principalmente desde los órganos internos hacia la periferia. En condiciones de ejercicio intenso lo que ocurre es que se transmite el calor desde los órganos hacia los tejidos periféricos a través de la sangre, por medio de conducción y convección; y desde la sangre al exterior, mediante conducción y radiación. Todo este proceso se

realiza gracias al gradiente de temperatura, el problema aparece cuando la temperatura ambiente es tan elevada como la temperatura de la piel o de la sangre, con lo que el gradiente es nulo y por lo tanto es muy costoso perder calor a través de este proceso. Las consecuencias de una vasodilatación excesiva, pueden en primer lugar aumentar el flujo sanguíneo periférico, conlleva una disminución del riego en otros órganos de menor importancia durante el ejercicio; y en segundo lugar, y más relacionado con el rendimiento, encontramos que como consecuencia de este aumento de flujo sanguíneo periférico, se aumenta el gasto cardíaco, con lo que la frecuencia cardíaca se ve aumentada. En condiciones de calor extremo, podemos llegar a un punto en el cual a pesar de este aumento de la frecuencia cardíaca, haya una baja de la presión arterial acompañada de un menor riego sanguíneo en los músculos activos, con la consecuente sensación de debilidad.

Sudoración: La sudoración responde a un sistema de termorregulación constituido, por una parte, por receptores a la temperatura ubicados en piel y en el interior del cuerpo. Estos receptores están conectados por vías aferentes nerviosas a un núcleo ubicado en el hipotálamo anterior. De allí, los impulsos eferentes son llevados a las glándulas sudoríparas a través del sistema nervioso autónomo principalmente por vías parasimpáticas y un mediador colinérgico. Sin embargo, las glándulas pueden también aumentar su secreción por acción de la adrenalina, que es un agonista simpático. La sudoración se da por evaporación que es la transformación del agua en vapor y es el único mecanismo que funciona a temperaturas ambientes superiores a los 37 °C, siempre que el aire no esté saturado de vapor de agua. Un ventilador no baja la temperatura ambiente, pero aumenta la convección y ayuda a la evaporación, permitiendo una mayor pérdida de calor por el organismo. En el momento en el cual la temperatura ambiental es mayor que la temperatura de la piel, el gradiente o diferencia entre las temperaturas es negativa, por lo que el cuerpo tiende a ganar calor. En este caso, el único

medio utilizado para perder calor es la evaporación del sudor. La sudoración es muy importante para mantener constante la temperatura durante el ejercicio realizado a alta temperatura, pero una alta tasa de sudoración puede tener consecuencias negativas. En primer lugar, la tasa de sudoración puede alcanzar hasta los $2 L/h$, lo cual, se relaciona con una pérdida importante de agua y la consecuente deshidratación, la cual conllevará un aumento de la viscosidad de la sangre provocando un descenso del volumen sistólico. Otra consecuencia de una elevada tasa de sudoración durante periodos de tiempo prolongados, puede ser el descenso de la producción de orina. Durante una sudoración excesiva se observan alteraciones en el funcionamiento del riñón, detectándose una disminución de la filtración glomerular y un aumento de la reabsorción de agua y sodio. Todos estos procesos se ponen en funcionamiento como respuesta al descenso del volumen plasmático inducido por la alta tasa de sudoración. [41]

La tasa metabólica basal (BMR basal y basal metabolic rate) es el ritmo en el que el cuerpo libera calor como resultado de la degradación de moléculas de combustible. La BMR es el consumo básico que el organismo necesita para vivir, en otras palabras, la tasa de utilización de la energía en condiciones de reposo. Esta energía es necesaria para mantener funciones corporales como la contracción cardíaca, la respiración, y el funcionamiento renal.

La tasa metabólica total de un individuo es la suma de su BMR y la energía consumida para realizar todas las actividades diarias. Por ejemplo, un obrero tiene mayor tasa metabólica total que un ejecutivo, cuyo trabajo no requiere mucha actividad física, y no hace ejercicio con regularidad. Un varón de talla media que no realice ejercicio regularmente y que pase todo el día tras de un escritorio gasta unas 2100 kcal/día (una mujer gasta aún menos energía). Si el alimento que consumen diariamente contiene aproximadamente la misma cantidad de kilocalorías ese

individuo se encuentra en un estado de equilibrio energético, es decir, su entrada de energía es igual a su salida.

Esto es un concepto muy importante ya que el peso corporal se mantiene constante cuando:

Entrada de energía= Salida de energía

Cuando la salida de energía es mayor que la entrada, se quema la grasa acumulada, y el peso corporal disminuye [30]. Las personas aumentan de peso cuando ingieren más energía en el alimento que las gastan en sus actividades diarias; dicho de otro modo, cuando:

Entrada de energía > Salida de energía

3.3.4.5.2.2 Gasto energético

El organismo gasta energía constantemente de tres maneras:

- La cantidad de energía que el cuerpo humano quema cuando está en reposo, también denominada metabolismo basal. A modo simbólico, se podría decir que es la cantidad de calorías que gastaría una persona si permaneciera todo el día en la cama. En términos más científicos significa la energía necesaria para el funcionamiento basal de los órganos vitales (corazón, pulmones, cerebro). Esta representa el 60-70% de nuestras necesidades diarias totales.
- Una cierta cantidad de energía utilizada para digerir, absorber y almacenar los alimentos que consume el organismo (también denominada termogenia inducida por la dieta). Representa aproximadamente el 10% de nuestras necesidades diarias totales.

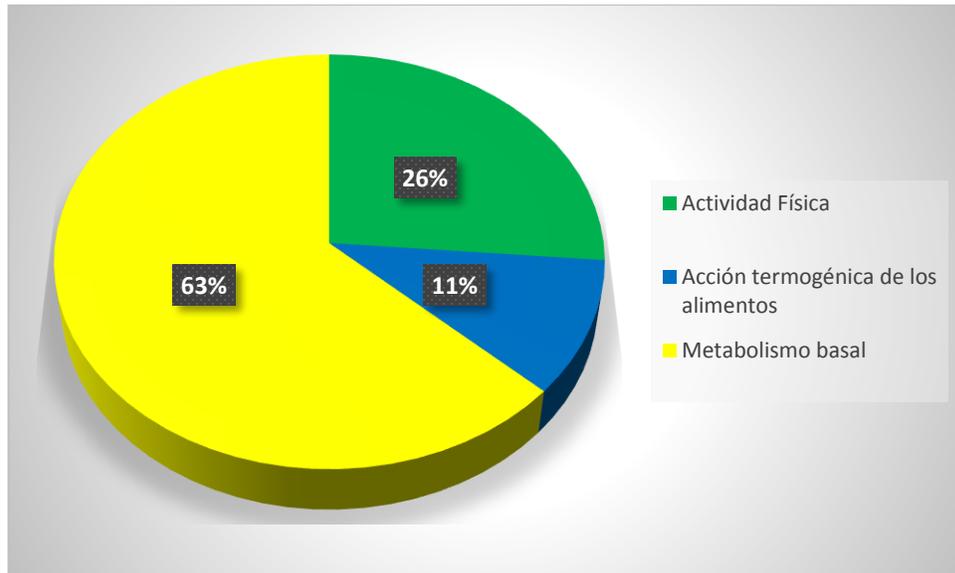
- Cada movimiento, acción o gesto que se realiza implica un coste energético. El coste total de la actividad física representa, por lo general, de un 20 a un 30% del gasto energético diario y varía en función del nivel de actividad física. Cuanto más activo se es, más energía se emplea.

Gasto energético total = Metabolismo basal + Termogenia inducida por la dieta + Actividad física

Si se consumen menos calorías de las que se gastan durante un periodo de tiempo prolongado, el organismo utilizará la grasa almacenada para suplir la diferencia. Una gestión del equilibrio energético eficaz debería basarse en la relación entre el consumo alimenticio (ENTRADA) y la actividad física (SALIDA), en lugar de centrarse únicamente en el hecho de contar las calorías ingeridas e ignorar la calorías gastadas y viceversa. Por ejemplo, si se desea reducir 100 calorías, se debería hacerlo añadiendo 15 minutos al paseo diario o recortando el tamaño de las porciones que ingerimos, o bien una combinación de ambas acciones.

En cuanto al gasto energético diario, que lógicamente condiciona las necesidades calóricas, contribuyen tres componentes importantes representados en la gráfica de la **Figura 21**.

Figura 21. Componentes del gasto energético para una actividad moderada



(Fuente: Autor)

- **Metabolismo basal:** la tasa metabólica en reposo representa la energía gastada por una persona en condiciones de reposo y a una temperatura ambiente moderada. La tasa metabólica basal sería el gasto metabólico en unas condiciones de reposo y ambientales muy concretas (condiciones basales: medida por la mañana y al menos 12 horas después de haber comido). En la práctica, la tasa metabólica basal y el gasto metabólico en reposo difieren menos de un 10%, por lo que ambos términos pueden ser intercambiables.

No todas las personas tienen el mismo gasto metabólico basal, pues depende de la cantidad de tejidos corporales metabólicamente activos. La masa muscular es metabólicamente más activa que el tejido adiposo. Está condicionado, por tanto, por la composición corporal, por la edad y el sexo. La mujer, con menor proporción de masa muscular y mayor de grasa, tiene un gasto basal menor que el hombre (aproximadamente un 10% menos) expresado por unidad de peso. En un hombre adulto de unos 70 kg de peso equivale a 1.1 kcal/minuto y 0.9 en una mujer de 55

kg. Esto representa, en personas sedentarias, un 70% de las necesidades totales de energía. [37]

- **La termogénesis inducida por la dieta o postprandial:** es la energía necesaria para llevar a cabo los procesos de digestión, absorción y metabolismo de los componentes de la dieta tras el consumo de alimentos en una comida (secreción de enzimas digestivos, transporte activo de nutrientes, formación de tejidos corporales, de reserva de grasa, glucógeno, proteína, etc.). Puede suponer entre un 10 y un 15% de las necesidades de energía, dependiendo de las características de la dieta. También se denomina efecto termogénico de la dieta o de los alimentos o acción dinámica específica.
- **Duración e intensidad de la actividad física desarrollada:** la energía gastada a lo largo del día para realizar el trabajo y la actividad física es, en algunos individuos, la que marca las mayores diferencias. Evidentemente, no necesita la misma cantidad de energía un atleta que entrene varias horas al día o un leñador trabajando en el monte, que aquella persona que tenga una vida sedentaria. Por ejemplo, durante una hora de sueño sólo se gasta 76 kilocalorías; Si se está sentados viendo la televisión o charlando el gasto es también muy pequeño: tan sólo 118 kcal/hora; pasear sólo quema 160 kcal/h y conducir durante una hora supone un gasto de 181 kcal. Sin embargo, hay otras actividades que conllevan un mayor gasto energético. Por ejemplo, 1 hora jugando al tenis, quema 458 kcal; montando en bicicleta, 504 kcal/h; subiendo a la montaña, 617; nadando, 727 o cuidando el jardín, 361 kcal/h. Una de las actividades que nos hace gastar más energía es subir escaleras: si se estuviera durante 1 hora subiendo escaleras se podría llegar a gastar hasta 1000 kcal. [42]

El gasto energético total se calcula multiplicando la tasa metabólica basal (TMB) por los coeficientes de actividad física presentados en la **tabla 5.**, de acuerdo con el tipo de actividad desarrollada.

Tabla 5. Coeficientes de la actividad física

Tipo de Actividad	Ligera	Moderada	Alta
Hombres	1.60	1.78	2.10
Mujeres	1.50	1.64	1.90

(Fuente: "Tratado de nutrición" de Hernández, Sastre, Gallego).

✓ **Clasificación de actividades**

La actividad física desarrollada puede clasificarse de la siguiente manera (**tabla 6.**):

Tabla 6. Clasificación de actividades

CLASIFICACIÓN DE ACTIVIDADES	
Ligera	Aquellas en las que se permanece sentado o en reposo la mayor parte del tiempo: dormir, reposar, estar sentado o de pie, pasear en terreno llano, trabajos ligeros del hogar, jugar a las cartas, coser, cocinar, estudiar, conducir, escribir a máquina, empleados de oficina, etc.
Moderada	Pasear a 5 km/h, trabajos pesados de la casa (limpiar cristales, etc.), carpinteros, obreros de la construcción (excepto trabajos duros), industria química, eléctrica, tareas agrícolas mecanizadas, golf, cuidado de niños, etc., es decir aquellas en las que se desplazan o se manejan objetos.
Alta	Tareas agrícolas no mecanizadas, mineros, forestales, cavar, cortar leña, segar a mano, escalar, montañismo, jugar al fútbol, tenis, jogging, bailar, esquiar, etc.

(Fuente: "Tratado de nutrición" de Hernández, Sastre, Gallego).

A lo largo del día se realizan numerosas actividades y por tanto existe un gasto de energía. En la **tabla 7** se muestra un factor de gasto energético para cada tipo de

actividad. Estos factores, aunque aproximados, nos permiten (sabiendo el tiempo empleado y el peso corporal) calcular el gasto calórico total.

Tabla 7. Factor de gasto energético

Tipo de actividad	Gasto energético: kcal/kg de peso y minuto (2)
Dormir	0.018
Aseo (lavarse, vestirse, ducharse, peinarse, etc.)	0.050
Barrer	0.050
Pasar el aspirador	0.068
Fregar el suelo	0.065
Limpiar cristales	0.061
Hacer la cama	0.057
Lavar la ropa	0.070
Lavar los platos	0.037
Limpiar zapatos	0.036
Cocinar	0.045
Planchar	0.064
Coser a máquina	0.025
Estar sentado (leyendo, escribiendo, conversando, jugando cartas, etc.)	0.028
Estar de pie (esperando, charlando, etc.)	0.029

Comer	0.030
Estar tumbado despierto	0.023
Bajar escaleras	0.097
Subir escaleras	0.254
Conducir un coche	0.043
Conducir una moto	0.052
Tocar el piano	0.038
Montar a caballo	0.107
Montar en bicicleta	0.120
Cuidar el jardín	0.086
Bailar	0.070
Bailar vigorosamente	0.101
Jugar al tenis	0.109
Jugar al fútbol	0.137
Jugar al ping-pong	0.056
Jugar al golf	0.080
Jugar al baloncesto	0.140
Jugar al Frontón y squash	0.152
Jugar al balonvolea	0.120

Jugar a la petanca	0.052
Hacer montañismo	0.147
Remar	0.090
Nadar de espalda	0.078
Nadar a braza	0.106
Nadar a crawl	0.173
Esquiar	0.152
Correr (8-10 km/h)	0.151
Caminar (5 km/h)	0.063
Pasear	0.038
Ligero: (Empleados de oficina, profesionales, comercio, etc.)	0.031
Activo: (Industria ligera, construcción (excepto muy duros), trabajos agrícolas, pescadores, etc.)	0.049
Muy activo: (Segar, cavar, peones, leñadores, soldados en maniobras, mineros, metalúrgicos, atletas, bailarines, etc.)	0.096

(Fuente: "Tratado de nutrición" de Hernández, Sastre, Gallego)

Para conocer el gasto energético total o las necesidades calóricas diarias, basta multiplicar el peso (en kg) por el factor correspondiente (que aparece en la primera columna) y por el número de minutos empleados en realizar la actividad de que se trate. [28]

CAPITULO IV

4. RESULTADOS

4.1 Nivel de dependencia del ser humano del entorno solar

El Sol es una inestimable fuente de energía. El organismo humano depende indirectamente de la energía solar, pues los alimentos que consume almacenan esta energía generalmente a través de la fotosíntesis. Debido a que todos los seres vivos se alimentan unos de otros, formando una gran cadena alimenticia, toda la flora y la fauna terrestre vive gracias al aprovechamiento directo o indirecto de la energía solar y ésta energía va disminuyendo a medida que va aumentando la escala (descrita más abajo) en la cadena alimentaria.

Existen en la naturaleza organismos dependientes de la energía del Sol. Dentro de la clasificación de este de los organismos por su dependencia energética es posible encontrar diferentes niveles en virtud de los procesos de recepción directa o mecanismos indirectos de aprovechamiento de la energía solar. Los organismos autótrofos son productores, es decir, se alimentan por sí mismos debido a que sintetizan sustancias para mutualismos a partir de otras sustancias inorgánicas. Esto significa que no necesitan de otros seres vivos para procesar los alimentos, sino que usan como única fuente la energía proveniente del Sol, usando la radiación, dióxido de carbono y sustancias químicas inorgánicas para la producción de azúcares como el almidón y la glucosa, a este proceso se le denomina fotosíntesis. Los fotosintetizadores no son los únicos autótrofos, también hay seres vivos quimiosintetizadores que degradan elementos químicos para obtener energía (sustituyendo la de la luz) y realizar quimiosíntesis (otra forma de autotrofismo). [43]

Por otra parte los organismos heterótrofos dependen de otras fuentes externas de moléculas orgánicas para obtener energía, puesto que no tienen la capacidad de producir sus propios nutrientes. Los alimentos que este tipo de organismos toman

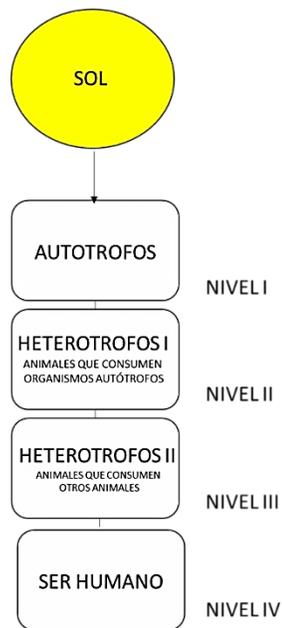
del medio, son generalmente plantas u otros animales y eso los clasifica dentro de diferentes niveles de dependencia.

Para describir esos niveles de dependencia es preciso categorizar los organismos según su metabolismo, por ejemplo los organismos fotorganótrofos usan como su fuente para sintetizar energía, la luz y lo hacen en medios carentes de oxígeno, ejemplo de este tipo de organismo son algunas bacterias como la purpúrea. Los quimiorganótrofos utilizan la energía química extraída de la materia orgánica y todo el reino animal y los hongos hacen parte de esta clasificación.

4.1.1 Caracterización de los niveles de dependencia

Es posible ver en la **Figura 22**. Una representación del esquema de los niveles de dependencia de los seres vivos del entorno solar.

Figura 22. Niveles de dependencia del entorno solar



(Fuente: Autor).

El **Nivel I** de dependencia está ocupado por los organismos autótrofos debido a que estos están en condiciones de generar su alimento mediante una sustancia inorgánica y que además aprovechan de manera directa la energía solar. *Productores.*

El **Nivel II** serán entonces los organismos heterótrofos que se nutren de otros organismos para obtener la materia orgánica ya sintetizada porque no cuentan con un sistema de producción de alimentos independiente. Esto quiere decir que la obtención de energía, nitrógeno y carbono la logran a partir de alimentarse de otros seres vivos. En esta instancia se tiene un ciclo de aprovechamiento indirecto de la energía solar. *Consumidores primarios.*

Un **Nivel III** de dependencia está caracterizado por los animales que son consumidores de organismos autótrofos y que además se alimentan de otro tipo de animales que ocupan el **Nivel II** como por ejemplo algunos peces. *Consumidores secundarios.*

Es posible asignar entonces el **Nivel IV** de dependencia al ser humano, que aunque hace parte del reino animal no solamente es consumidor en primera instancia de organismos autótrofos, sino además de otros animales que pertenecen al **Nivel II y Nivel III** de dependencia generando de esta manera un ciclo de aprovechamiento indirecto. *Consumidores terciarios.*

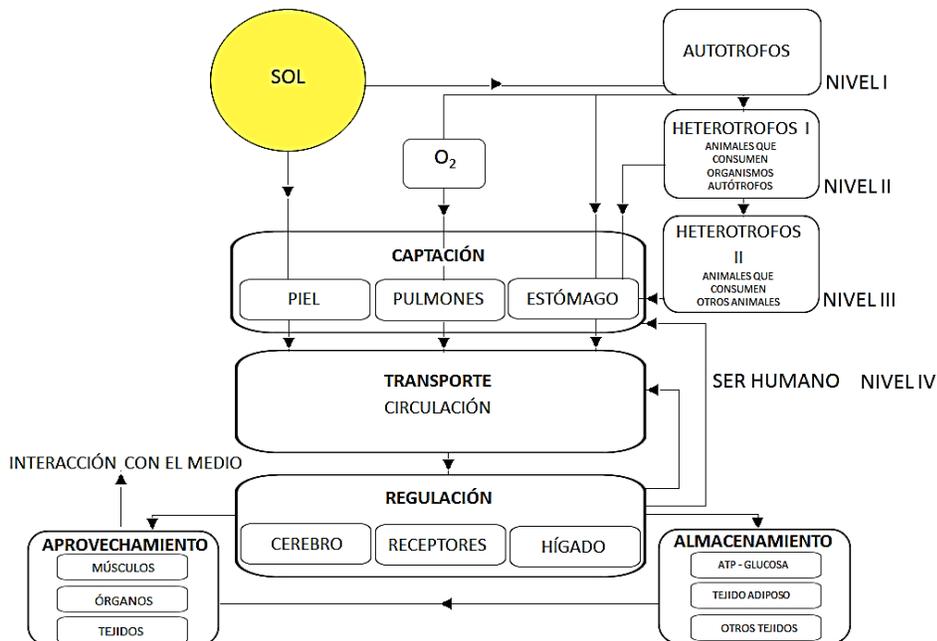
En el ser humano como un consumidor terciario de **Nivel IV** es posible analizar una dependencia en una escala porcentual en función de los alimentos obtenidos del medio en la ubicación de los subniveles de aprovechamiento. Otro elemento importante de la caracterización es la acción directa de la radiación sobre la piel como un receptor primario de la energía solar.

Este no es un receptor exclusivo pero si es el único que puede ser asociado con el organismo autótrofo que realiza el aprovechamiento de manera directa debido a que la piel por su propiedad óptica de transmisión aprovecha en aproximadamente un 30 % la radiación UVB que llega en un 20% al cuerpo mucoso de Malpighi y un 10% a la dermis, la radiación UVA atraviesa la epidermis siendo en parte detenida por la melanina. La radiación es empleada para la fijación de la vitamina D en los huesos como proceso vital de absorción del calcio que es suministrado por los alimentos, en la producción de melanina y en la recepción de calor que es nuestra forma más común de energía.

4.1.2 Diagramas de flujo de aprovechamiento de la energía solar y funciones análogas de los sistemas de energía solar tecnológicos y el ser humano

En la **Figura 23**. Está descrito el diagrama de flujo del aprovechamiento de la energía solar por el ser humano.

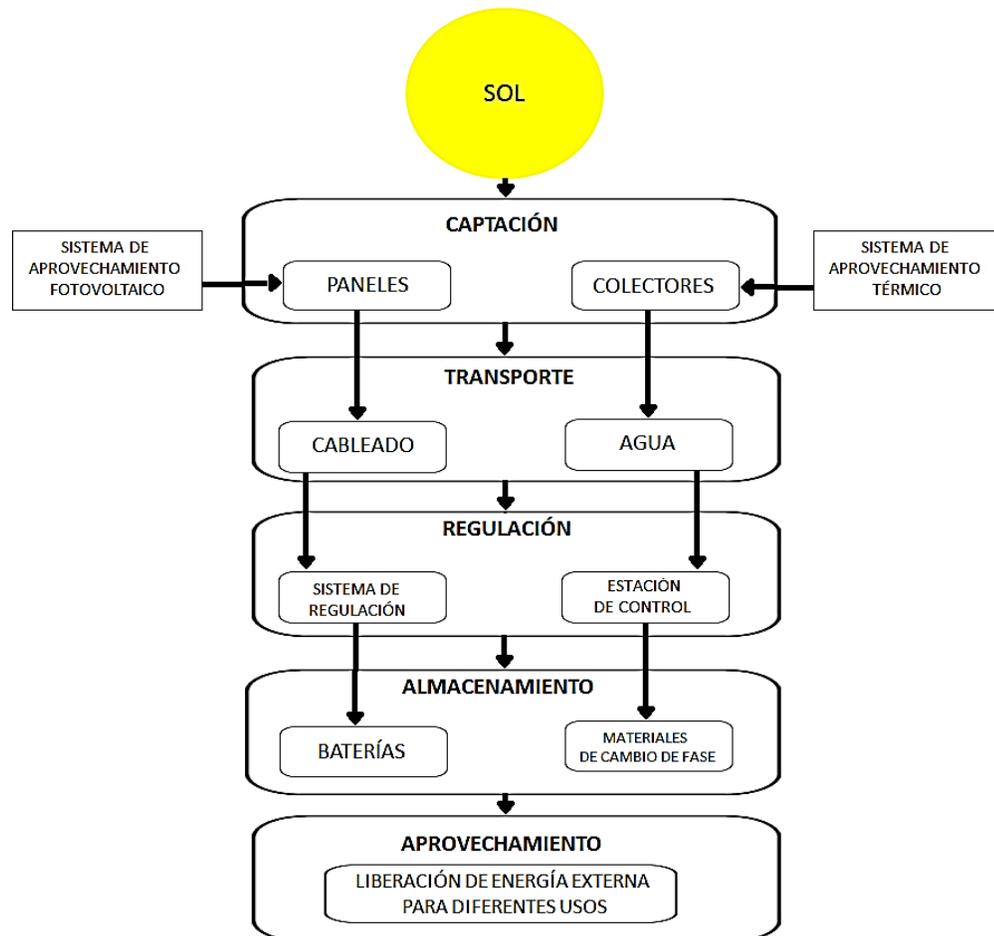
Figura 23. Diagrama de flujo de aprovechamiento de la energía solar por el ser humano



(Fuente: Autor)

En los sistemas tecnológicos es posible también representar un diagrama de flujo de la energía. (**Figura 24**).

Figura 24. Ejemplo de flujo de energía solar para los sistemas tecnológicos



(Fuente: Autor)

Es posible entonces en relación al análisis de los subsistemas componentes del aprovechamiento de la energía solar y su función realizar una comparación respecto a los elementos de los sistemas tecnológicos y del organismo humano. En la **tabla 8** se presenta un cuadro comparativo de las funciones análogas de la caracterización de los sistemas de aprovechamiento de la energía solar.

Tabla 8. Cuadro comparativo de las funciones análogas de los sistemas de energía solar tecnológicos y el ser humano

FUNCIÓN	ORGANISMO HUMANO	SISTEMA DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA	SISTEMA DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA
Captación	Piel, estomago, pulmones	Colectores solares	Paneles
Transporte interno	Sistema de circulación	Agua, fluidos termoestables, entre otros	Cableado
Regulación	Cerebro, hígado	Estación de control	Regulador, inversor
Sistema Sensorial	Receptores, electrorreceptores, mecanorreceptores, termorreceptores, quimiorreceptores, fotorreceptores	Termocuplas, medidores de presión y de flujo, sensor de radiación	Sensor de radiación, temperatura, carga
Almacenamiento	ATP, Glucosa, tejido adiposo, otros tejidos	Materiales de cambio de fase, agua, fluidos	Baterías, rotores, aire comprimido, energía química, otros
Aprovechamiento y eficiencia	Metabolismo energético Contracción muscular	Liberación de energía externa para diferentes usos	Liberación de energía eléctrica para fines externos

(Fuente: Autor)

Es importante hacer alusión a que existe una gran similitud en la serie de procesos de aprovechamiento de la energía en el organismo humano y los elementos constitutivos del mismo y los sistemas tecnológicos de energía solar, esto debido a que la configuración del sistema ser humano como una máquina lo estructuran en un centro de operaciones muy complejo, que debe mantenerse dentro de ciertos límites que le permitan desarrollar su funcionabilidad de manera óptima, mediante los procesos físicos y químicos que lleva a cabo y de los cuales la termodinámica representa una parte crucial del mismo, ya que son los procesos de regulación, transformación y producción de energía los que le permiten llevar a cabo todas sus funciones vitales.

Las descripciones de los sistemas convencionales, sus elementos y funciones son articulados además por procesos que pueden ser comparables entre sí.

Los procesos tienen características físicas similares en los subsistemas de captación, almacenamiento y aprovechamiento de la energía solar, y es pertinente e importante reconocer que a partir de estos procesos que ocurren en la interacción directa o indirecta con la energía solar surgen las transformaciones energéticas requeridas por dichos sistemas.

De acuerdo con lo descrito en el anterior capítulo es posible mencionar algunos casos para los cuales se equiparan los procesos.

Por ejemplo en la captación los componentes de cada sistema tienen fundamentalmente una interacción directa. En el caso del ser humano la primera interacción es con la piel. Pese a que no existe mayor aprovechamiento en esta fase la posibilidad de captar la energía le permite al hombre la fijación de la vitamina D en los huesos gracias a la absorción de calcio obtenido indirectamente por los alimentos. También es recibida la forma más común de energía, el calor. Este ayuda

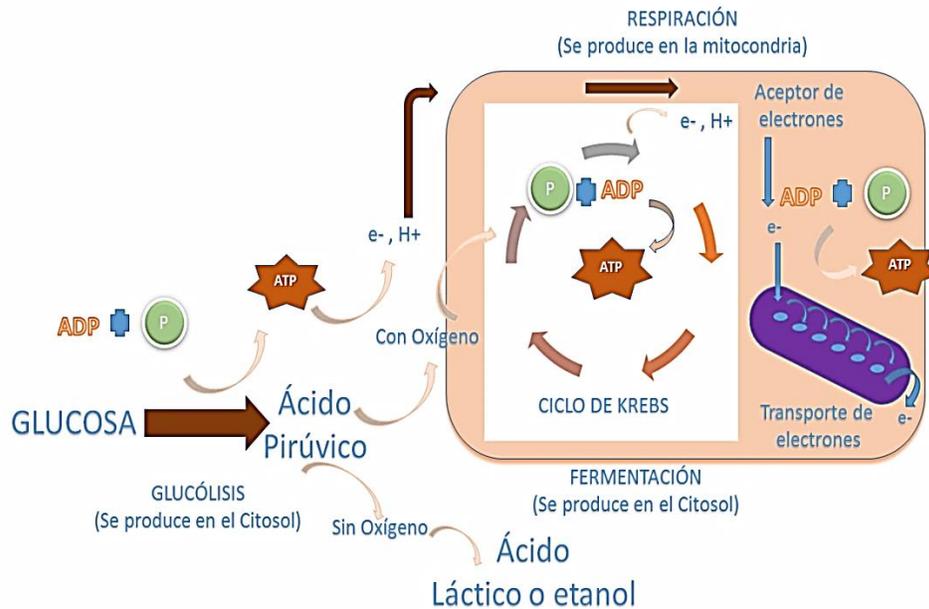
al ser humano a mantener la temperatura corporal constante. El sistema térmico, por otra parte, puede a partir de la interacción directa absorber el calor producido por los rayos solares para la producción de agua caliente o calefacción.

Es necesario mencionar que en un proceso como la termorregulación en el ser humano, juega un papel fundamental el transporte interno que es generado por las células sanguíneas y el agua de la sangre (sistema circulatorio, corazón como bomba impulsora conformado por válvulas de control de flujo de sangre oxigenada y desoxigenada) que de manera particular permiten la homeostasis de las funciones biológicas en el mismo. Este mecanismo de transporte puede ser comparable al subsistema de bombeo del sistema térmico constituido por una bomba hidráulica y diferentes tipos de válvulas (como en el caso del corazón humano) y tuberías (circuitos sistémico circulatorio y pulmonar) donde el transporte interno de la energía en este caso es realizado por el agua y los fluidos termoestables.

La particularidad de la regulación que distingue ambos sistemas de aprovechamiento es el sistema de control, que en el organismo humano está centrado en el cerebro y el hígado que son los órganos encargados de operar todas las transformaciones energéticas del metabolismo y en el sistema convencional es el centro de operación que coordina y automatiza las funciones de estado del sistema (caudal, temperatura, entre otros) para transmitir el calor generado en función de su uso.

Otro de los elementos más interesantes del análisis es la transformación de la energía solar en energía química almacenada en las baterías de los sistemas fotovoltaicos. En el caso del organismo humano estos procesos suceden a través del ATP. Es posible apreciar que la energía es empleada por cada sistema particularmente en la realización de trabajo útil (químico, eléctrico, de transporte y mecánico) o su transformación en calor llevando a cabo reacciones de diferente tipo pero con procesos globalmente similares entre un sistema y otro.

Figura 25. Ciclo de procesos biológicos de obtención de la energía a nivel celular

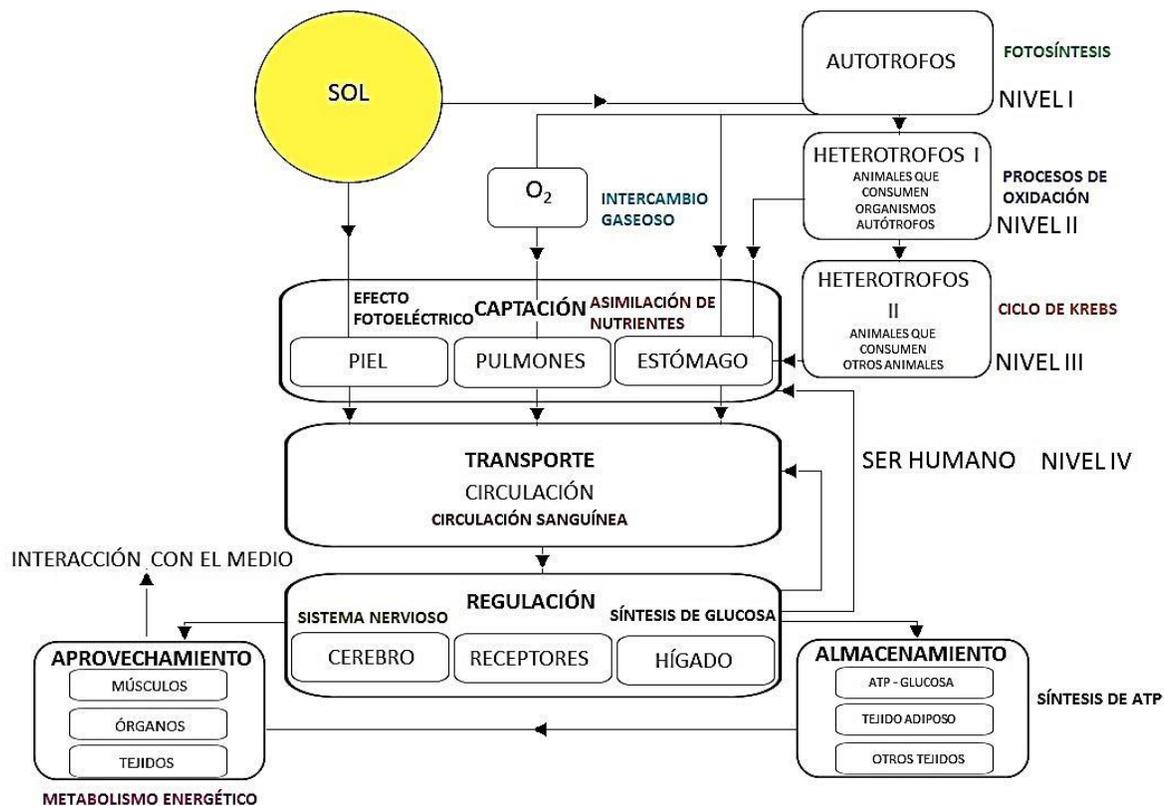


(Fuente: Autor)

El diagrama de la **Figura 25**. Está representado el ciclo de procesos biológicos de obtención de energía a partir del ciclo de Krebs y síntesis de la glucosa. En este diagrama es posible apreciar la función mitocondrial como el intercambiador energético del organismo humano, algo parecido a un intercambiador de calor en un sistema térmico de energía solar, y a un inversor en un sistema fotovoltaico.

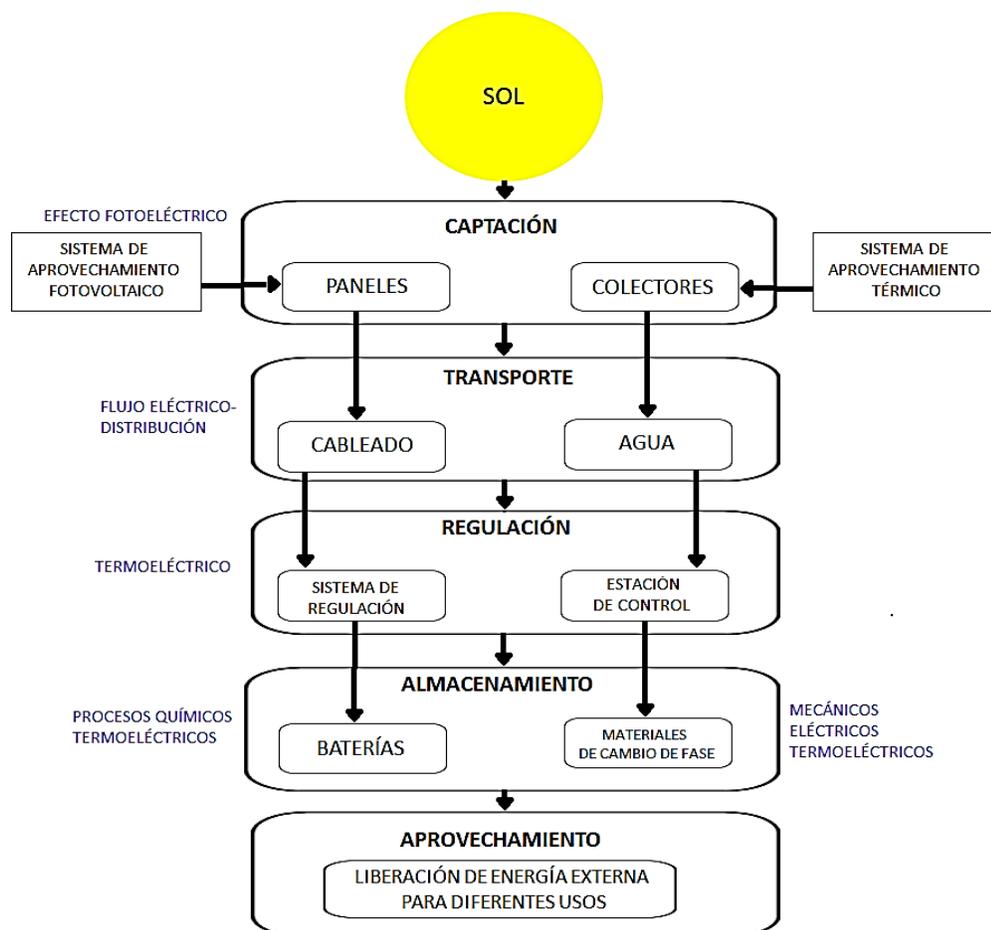
En las **Figuras 26 y 27** se muestra el flujo de energía solar a partir de los procesos del organismo humano y los sistemas tecnológicos, respectivamente.

Figura 26. Flujo de energía para el organismo humano-procesos y porcentajes



(Fuente: Autor)

Figura 27. Flujo de energía de los sistemas tecnológicos-procesos.



(Fuente: Autor)

4.2 Importancia de la interacción indirecta de la energía solar con el ser humano

De manera general se puede hacer mención a diferentes procesos fisiológicos que no constituyen una interacción directa de la energía solar, pero que sí, de modo alguno, modifican los procesos de aprovechamiento de la energía por parte del ser humano. Ejemplos importantes de esto es cómo al aprovechar la energía solar por el organismo se refuerza del sistema inmunológico y se disminuye la sensibilidad de ciertos individuos a determinadas infecciones. La radiación ultravioleta contribuye a otorgar a la atmósfera propiedades antibióticas y a proteger al

organismo de las enfermedades bacterianas. La interacción con el Sol estimula la circulación de la sangre, contribuye a la regulación de estados depresivos, ayuda a conciliar el sueño y disminuye el cansancio; mejora las enfermedades reumáticas (enfermedades que afectan las articulaciones, el corazón, los riñones, los huesos, los pulmones y la piel) y además favorece el aumento en la producción de hormonas sexuales.

4.3 Importancia del agua

La energía solar es vital e importante, pero no se vale por sí sola, el agua es de igual manera muy necesaria para la vitalidad, aunque no aporte energía directamente es una fuente de nutrientes y compone cerca del 55-70% del peso total del cuerpo humano. Algunas de sus funciones son: es el medio acuoso de dilución de todos los líquidos corporales. Ayuda al transporte de los nutrientes al interior de las células, así como transporta las sustancias de desecho de estas células. Ayuda a poder realizar la digestión de los alimentos. Contribuye al mantenimiento de la temperatura corporal mediante la evaporación del agua a través de la piel. El cuerpo humano no almacena el agua, por eso, la cantidad que se pierde cada día debe restituirse para garantizar el buen funcionamiento del organismo.

CONCLUSIONES

- Se hizo una introducción a los sistemas de aprovechamiento de la energía solar convencionales.
- Se analizaron los diferentes órganos y componentes del organismo humano como sistema energético y se hizo un análisis comparativo con un sistema convencional de energía solar.
- Se encontró que el organismo humano es una máquina compleja que utiliza la energía del Sol como fuente principal, en su mayor parte indirectamente.
- El organismo humano, en su proceso de aprovechamiento de la energía es comparable con un sistema tecnológico de energía solar y se puede encontrar similitud en sus subsistemas: captación de la energía, transporte, regulación, almacenamiento y aprovechamiento.
- Algunos procesos en los dos sistemas comparados son muy similares como por ejemplo el almacenamiento, en donde la energía solar es almacenada en forma de energía química.
- Se realizaron esquemas del flujo de la energía tanto en un sistema tecnológico como en el sistema organismo humano y de sus procesos.

RECOMENDACIONES

- Los resultados del estudio del ser humano como sistema de aprovechamiento de la energía solar pueden ser utilizados en el perfeccionamiento de procesos tecnológicos de aprovechamiento de la energía.
- Se puede profundizar el estudio de ciertos órganos que transforman la energía solar en otro tipo de energía (química, eléctrica, mecánica) para mejor entendimiento de sus procesos y hallar aplicaciones en desarrollo tecnológico de la humanidad.

REFERENTES BIBLIOGRÁFICOS

- [1] Pathak, «Sunscreens: Progress and perspectives on photoprotection of human skin against UVB and UVA radiation.,» *J Dermatol*, pp. 23:783-800, 1996.
- [2] P. G. C. Ribera Pibernat, «El Sol y la piel: fotoprotección y filtros solares,» *MedIntegral*, vol. 2, nº 30, pp. 64-71, 1997.
- [3] J. T. M. Hans C. Ohanian, Física para ingenierías y ciencias, México: McGraw-Hill, 2009.
- [4] A. S. Frumento, Biofísica, Buenos Aires: Mosby - Doyma Libros, 1995.
- [5] M. V. Volkenshtein, «Cuestiones y Métodos de la Biofísica,» de *Biofísica*, Mir, 1985, pp. 16-32.
- [6] G. W. Campbell Lewis, «The Life of James Clerk Maxwell,» 1882. [En línea]. [Último acceso: 10 Diciembre 2014].
- [7] J. A. L. José B. Aparicio, Biofísica Especial, Tunja: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 1998.
- [8] H. C. V. N. Michael M. Abbott, Termodinámica, México: McGraw-Hill, 1991.
- [9] R. Clausius, «Über die bewegende Kraft der Wärme», *Annalen der Physik und Chemie*, 1850.
- [10] I. Levine, Fisicoquímica, Madrid: Mac GrawHill, 2004.
-]
- [11] A. B. B. L. Jerry D. Wilson, Física, México: Pearson, 2007.
-]

- [12 M. Parisi, Temas de Biofísica, México: McGraw-Hill, 2003, pp. 25-31.
]
- [13 R. W. Wolfram Krewitt, «Fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climático,» Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Lübeck (Alemania), 2011.
- [14 L. Postigo, El mundo de la energía: Energía convencional y no convencional,
] Barcelona: Sopena, 2005.
- [15 A. Aurengo y T. Petitcler, Biofísica, Tercera ed., Mac GrawHill, 2006.
]
- [16 C. E. J, Biophysics concepts and mechanisms, Nueva York: Reinhold, 1962.
]
- [17 F.-O. E. C. Report, «Energy and Protein Requirements,» Technical Report
] Series 724 , Ginebra, 1985.
- [18 C. L. a. Offices, «National Renewable Energy Laboratory,» [En línea]. Available:
] http://www.nrel.gov/research_review/2007/innovation_quantum.html.
- [19 S. Garcia, «Renove tecnología,» *Energiza*, vol. 23, 2013.
]
- [20 A. Becerra, «Energía Solar,» de *Semana nacional de la ciencia, tecnología e*
] *innovación*, Villa del Rosario, Norte de Santander, 2014.
- [21 D. A. A. Sánchez, «Libro interactivo sobre energía solar y sus aplicaciones,»
] Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, 2011.
- [22 A. M. R. López, «Diseño de un sistema fotovoltaico,» Universidad Internacional
] de Andalucía, Andalucía, 2012.

- [23 F. C. Bohórquez, «Análisis de viabilidad para la implementación de sistemas de eneración electrica usando energia solar para uso residencial,» Universidad de San Buenaventura, Medellín, 2009.
- [24 J. A. Carrion, «DMedicina.com,» Junio 2015. [En línea]. Available:
] <http://www.dmedicina.com/vida-sana/actualidad/efectos-biologicos-del-sol->
- [25 «Fotobiología y dermatología,» Marzo 2012. [En línea]. Available:
] <http://www.fyboa.uma.es/wp-content/uploads/2012/03/-copia.pdf>.
- [26 F. M. G. José M. Macarulla, Nutrición, digestión y absorción de los alimentos,
] Editorial Reverté.
- [27 L. E., Bioquímica: Rutas metabólicas y transferencia de energía, Ediciones
] Omega, 2003.
- [28 B. M. Solomon, Biología General: Metabolismo energético, Mc Graw-Hill
] Interamericana, 2008.
- [29 M. H. Williams., NUTRICIÓN PARA LA SALUD FISICA Y EL DEPORTE,
] Editorial Paidotrivo.
- [30 Curtis, Biología: Tasa Metabólica y Regulación Térmica., Mac Graw Hill.
]
- [31 «Wikipedia Receptores de Calor Corporal,» Agosto 2014. [En línea]. Available:
] http://es.wikipedia.org/wiki/%C3%93rgano_sensorial#Receptores.
- [32 «Almacenadores de Energía,» [En línea]. Available:
] <http://es.265health.com/diet-nutrition/healthy-diets/1008151129.html#.VErKCvmUeE5>.

- [33 «Sistema Regulador del cuerpo humano,» [En línea]. Available:
] a.http://www.cyd.conacyt.gob.mx/237/Articulos/Cuando_el_calor/Cuando_el_calor_2.html .
- [34 Harper, Bioquímica Ilustrada: Oxidación biológica, México: Mac Graw Hill,
] 2000.
- [35 K. I. Some, Principles of energetics in biochemical reactions, Nueva York:
] Academic Press Inc, 1957.
- [36 W. DR., «Thermodynamics and the interpretation of biological heat
] measurements,» *Progress Biophys* , nº 259, p. 10, 1960.
- [37 P. A. Lingraham, Free energy and entropy in metabolism, Nueva York:
] Academic Press Inc, 1960.
- [38 A. B. W, Elementary Chemical Thermodynamics, New York: Reverté, 1987.
]
- [39 M. JA, Physics in medicine and biology, Oxford: Pergamon Press, 1986.
]
- [40 M. P. Sajadi MM, «Temperature regulation and the pathogenesis of fever.,»
] *Bennett JE, Dolin R, Blaser MJ, eds. Mandell, Douglas, and Bennett's Principles and Practice of Infectious Diseases.*, vol. 8, 2015.
- [41 F. A. G. Marina Maté Moreno, «Trastornos de la regulación de la temperatura,»
] de *Facultad de Medicina de la Universidad de Málaga*, Málaga, 2002.
- [42 H. V. Y. F. K. B. M. J. GIBNEY, Introducción a la nutrición humana: Balance
] energético, Acriba, 2006.

[43 A. T., Biología, la vida en la Tierra, Pearson Education, 2003.

]

[44 F. Morales, «Investigación descriptiva,» [En línea]. Available:

] <http://www.mistareas.com.ve/investigacion-descriptiva.htm> . [Último acceso: 18 Mayo 2015].

[45 Agencia energética municipal de Pamplona (España), «Área de Medio

] Ambiente y Sanidad,» 19 05 2006. [En línea]. Available: www.pamplona.es/pdf/aprovechamientoenergiasolar.pdf. [Último acceso: 3 2015].

[46 G. C. Kretzschmar, «Chemical change and energy output during muscular

] contraction,» *J Physiol*, nº 173, p. 218, 1971.