

# FISIOLOGÍA DE LA TERMORREGULACION

**Dr. Armando Álvarez Díaz DrC.**

## **INTRODUCCIÓN**

En nuestro planeta las condiciones climáticas son muy heterogéneas y fluctuantes. Estas condiciones oscilan entre rangos extremos tan fríos como  $-80^{\circ}\text{C}$  en la Antártica hasta temperaturas tan calientes como  $55^{\circ}\text{C}$  en zonas desérticas africanas. La vida animal es posible debido a los sistemas de adaptación térmica tanto a los extremos de temperaturas antes señalados como a la variedad de rangos climáticos en las diferentes áreas del planeta. La temperatura corporal es un indicador importante del medio interno y el resultado del balance entre la producción y la pérdida de calor. El balance térmico se establece por un complejo sistema homeostático de control, responsable de la condición isotérmica de la especie animal y está notablemente influenciado por factores componentes del medio ambiente. Entre los indicadores influyentes del medio ambiente, la temperatura se constituye en el más importante generador de cambios fisiológicos en el organismo animal debido a que activa o deprime funciones de algunos sistemas corporales que determinan respuestas de carácter comportamental individual o colectivo en los animales.

La temperatura determina la velocidad de movimientos de las moléculas de cualquier materia incluyendo a aquellas de las cuales está constituido el cuerpo de los animales. Cuanto más baja sea la temperatura, más lento será el movimiento de las moléculas y por consiguiente con mayor lentitud transcurrirán las reacciones químicas; por el contrario el calor incrementa la velocidad de estas reacciones. La temperatura es uno de los principales factores que afecta la función de los tejidos y por lo tanto, su control dentro de los límites de oscilación de la especie, es un mecanismo homeostático.

## **BASES FISIOLÓGICAS.**

Los vertebrados se clasifican en dos grandes grupos atendiendo a la relación que se establece entre la temperatura corporal y la temperatura ambiental: animales poiquiloterms o de sangre fría como los peces, anfibios y reptiles y animales homeoterms o de sangre caliente a la que pertenecen mamíferos y aves. En el caso de los invertebrados no existe la capacidad de ajustar su temperatura corporal al carecer de mecanismos controladores por lo que se encuentran a merced de la temperatura ambiental.

Los poiquiloterms o animales de sangre fría se caracterizan por tener una menor termogénesis, organismos bradimetabólicos, en los que su temperatura corporal fluctúa con la del medio ambiente por lo que un conjunto complicado de respuestas deciden el régimen térmico apropiado a sus funciones y modo de vida. Generalmente estos animales producen calor de acuerdo con su talla corporal de manera que mientras más pequeños menor producción de calor. A medida que generan calor lo ceden al medio donde se desarrollan, por lo que es difícil determinar si el animal está más caliente que

el medio en que se desenvuelve, no obstante se ha estimado por ejemplo, que las pequeñas truchas, cuyo hábitat son las aguas frescas de los arroyos montañosos, tienen  $0,012^{\circ}\text{C}$  más de temperatura que el agua. En el caso del atún se ha comprobado una temperatura corporal superior al menos en  $6^{\circ}\text{C}$  a la del agua.

Los animales de sangre fría no están totalmente indefensos ante los cambios de la temperatura ambiental y aunque si bien es cierto que poseen un mecanismo de ajuste térmico muy rudimentario, en realidad luchan por diferentes medios contra el calor y el frío mediante regulaciones fisiológicas, adaptaciones bioquímicas y formas de conductas especiales. El desarrollo de conductas especiales tales como la búsqueda de aguas más templadas en los peces o los baños de sol en los lagartos influyen sobre la temperatura corporal de los poiquilotermos por lo que son animales de tipo ectotermos al ganar calor del exterior, es decir, son animales "ajustadores" de la temperatura corporal. Estas especies requieren de menor cantidad de energía y son capaces de sobrevivir en lugares donde escasea el alimento.

Los homeotermos o de sangre caliente tienen la capacidad de controlar, dentro de un estrecho margen, su temperatura corporal independientemente a la temperatura ambiente. Cuando los mamíferos y las aves evolucionaron a partir de los reptiles, no solo lo hicieron con sangre caliente y capacidad de regular la temperatura, sino que se modificaron cualidades de las células del cuerpo. A igual temperatura órganos aislados de animales homeotermos presentan un metabolismo más alto que los de animales poiquilotermos e inclusive el corazón de los mamíferos pequeños late mucho más rápido que el de un vertebrado poiquilotermo comparable a temperaturas similares.

El mantenimiento de la temperatura corporal se relaciona estrechamente con otro indicador importante del medio interno: la presión osmótica de los líquidos corporales. Los animales poiquilotermos se clasifican osmoconformadores porque toleran amplias variaciones en la osmoconcentración interna producto de variaciones de la del medio mientras que los homeotermos son osmorreguladores porque resisten amplias variaciones en la del medio sin apenas modificar su osmoconcentración interna.

El incremento de la actividad química que decide una elevada temperatura parece ser la razón por la que la temperatura corporal de los animales homeotermos sea tan alta en rangos que fluctúan desde los  $36^{\circ}\text{C}$  en el elefante hasta los  $42^{\circ}\text{C}$  en las aves. Esta temperatura corporal tiene que ser mantenida incluso ante temperaturas ambientales frías por lo que los animales tienen que incrementar la ingestión de alimentos y disponer de un mayor tiempo en su obtención. Para el mantenimiento de la temperatura corporal los animales homeotermos desarrollan una intensa actividad taquimetabólica-termogénica así como mecanismos adicionales de regulación con la característica de que ante el enfriamiento pueden producir calor adicional por la activación de procesos metabólicos por lo que clasifican como animales endotermos, es decir, son animales "reguladores" de la temperatura corporal.

En mamíferos muy jóvenes, que no tienen todavía desarrollada la función integrativa encefálica para el control de la temperatura corporal, se observa una gran tolerancia a

los cambios térmicos (paloma, perro, gato y conejo). En las especies pluríparas, especialmente en el cerdo, conejo y roedores, las madres construyen un nido donde viven los recién nacidos en su primera etapa de vida. El nido se conserva generalmente limpio, seco y libre de orina y heces fecales. La construcción y el tamaño del nido dependen de la temperatura ambiente; la madre es estimulada para abrigar a sus crías por el frío mientras que ante el calor ejecuta una acción de desnudamiento de las mismas. Una o dos semanas después del nacimiento los neonatos ya han desarrollado su mecanismo regulador térmico por lo que comienzan a independizarse de los cuidados y atenciones maternas.

La temperatura normal del cuerpo de los mamíferos oscila entre 36 y 40 ° C según la especie. Este indicador del medio interno, no mantiene una constancia estricta ya que varía entre las especies e inclusive en menor grado entre individuos de la misma especie. Muchas causas son capaces de producir variaciones normales en la temperatura corporal de los animales homeotermos entre ellas la edad, el sexo, la estación climática, la hora del día, la temperatura ambiente, el ejercicio, la ingestión de alimentos y agua, el proceso digestivo, etc. El feto al poseer su propio metabolismo basal de desarrollo posee una temperatura corporal algo superior a la madre. Después del nacimiento la temperatura del cuerpo de muchas especies es relativamente lábil hasta que se desarrolla y/o “madura” completamente el mecanismo termorregulador y a partir de aquí se inicia un período en el cual la temperatura disminuye con la edad hasta alcanzar su valor característico en el adulto de la especie que se trate.

La temperatura corporal de los animales domésticos se obtiene mediante la inserción del termómetro en la ampolla rectal estableciéndose las siguientes observaciones: 1. Asegúrese que el termómetro esté en contacto con la mucosa rectal ya que en caso de ocupación del mismo por bolo fecal debe evacuarse este antes de la toma térmica, 2. El animal debe estar en reposo para proceder a la toma de la temperatura dejándolo descansar si estaba trabajando o si ha tenido que desplazarse al lugar de consulta al tiempo que se recomienda tomarse dos veces seguidas la temperatura para lograr coincidencia y certeza médica, 3. El celo y el final de la gestación producen en la hembra una elevación de la temperatura corporal mientras que el hambre, el agotamiento físico, el esquileo y la ingestión de agua fría la disminuyen, 4. En los animales de raza de pelo largo se registran temperaturas de siete u ocho décimas de grados mas que las obtenidas en razas de pelo corto; esta diferencia aumenta durante el verano y 5. Cuando se desea obtener una grafica térmica, se debe ejecutar la toma de temperatura a las ocho de la mañana y a las cinco de la tarde. La temperatura será menor en la mañana que en la tarde por el lógico efecto del ritmo circadiano para las especies de hábitos diurnos.

La estabilidad completa de la temperatura corporal sería solo posible si no ocurriera intercambio de calor entre el cuerpo y el medio. La producción constante de calor y su pérdida hacia el medio determinan en los animales homeotermos un gradiente térmico que va del interior caliente (núcleo) hacia la cubierta menos caliente (superficie). Según las leyes físicas del flujo de calor, la superficie corporal posee una temperatura más baja que las partes centrales del cuerpo. En las extremidades se forma un gradiente

térmico en dirección longitudinal (axial) y además existe un gradiente de temperatura en dirección radial por lo que es perpendicular a la superficie lo que debido a la conformación geométrica irregular del cuerpo determina un cuadro térmico complicado.

La temperatura de núcleo se mantiene con una gran constancia planteándose que en sistemas normales, su variación es aproximadamente de solo  $0.5^{\circ}$  C. La temperatura de núcleo comprende la generada por los órganos situados en las cavidades encefálica, torácica y abdominal así como la temperatura de la musculatura profunda y tiene su origen en el calor producido por el metabolismo principalmente del cerebro, corazón, hígado y el trabajo muscular. Se ha demostrado que durante el trabajo físico, mas del 80% del calor se produce en la musculatura esquelética que lógicamente disminuye en condiciones de reposo. El hígado producto a su activo metabolismo y su gran tamaño ocupa el segundo lugar en importancia para la producción de calor por lo que durante el reposo físico entra a desarrollar un papel significativo para el mantenimiento de la temperatura de núcleo. Los homeotermos deben mantener una tasa metabólica elevada para obtener las calorías necesarias que sostengan la temperatura corporal por lo que necesitan una ingestión relativamente elevada de energía.

Al medir la temperatura de la piel (dermis y epidermis) y de la musculatura situada por debajo de esta ( musculatura superficial) se constata que la misma puede estar caliente o fría según la temperatura ambiente. La temperatura de superficie esta sometida a cambios fuertes en sus valores e influenciada mucho por la temperatura ambiente. En realidad la cubierta del cuerpo se comporta como una envoltura corporal poiquiloterma (temperatura de superficie) de un núcleo corporal homeotermo (temperatura del núcleo). La existencia de un gradiente térmico determina que la temperatura de las partes periféricas del cuerpo, como las extremidades, puedan tener en ambientes fríos, hasta  $10^{\circ}$  C, por debajo de la temperatura de núcleo.

La temperatura corporal de las aves es mayor que la de los mamíferos. Con la disminución del tamaño corporal se incrementa la relación superficie / volumen aumentando la superficie relativa por la que se disipa el calor y por consiguiente los animales pequeños necesitan una producción de calor mayor por unidad de peso, aunque semejantes, que la que necesita los animales grandes si han de mantener la misma temperatura. Al disminuir el tamaño del cuerpo, el aumento del índice metabólico alcanza finalmente un limite debido a que las necesidades de energía se hacen muy altas. Con una diferencia dada de temperatura entre el interior del cuerpo y el ambiente, la pérdida de calor por unidad de masa corporal es tanto mayor cuanto mayor sea la relación superficie / volumen, relación que disminuye con el aumento del tamaño corporal, además mientras menor sea el animal menor será el espesor de la cubierta corporal aislante. En consecuencia los animales pequeños como los roedores, que carecen de verdaderas glándulas sudoríparas y tienen poca capacidad de jadeo, desarrollan acciones de conducta termorreguladora evitando el calor ambiental al vivir en túneles subterráneos.

Para que el animal mantenga una temperatura constante se necesita un balance efectivo entre la producción y la pérdida de calor. Los estudios del estado térmico corporal solo son posibles cuando el efecto neto de la ganancia de calor es balanceado por el efecto neto de la pérdida del calor. Desde el punto de vista del balance térmico, la producción de calor en donde predomina la actividad química, también se conoce como termorregulación química, mientras que la pérdida de calor, que se basa principalmente en fenómenos físicos, se denomina termorregulación física.

### **- Producción de calor ( Termogénesis).**

La producción o ganancia de calor del cuerpo animal depende fundamentalmente de tres fuentes, dos de tipo directas y una indirecta. Las fuentes de tipo directas se corresponden con la actividad muscular y las reacciones bioquímicas de los procesos metabólicos mientras que la fuente indirecta esta dada por la ganancia del calor del medio ambiente.

Le corresponde a la musculatura esquelética, debido a la amplitud de su área, ser una parte importante en la generación de calor. La contracción muscular es un proceso exotérmico que implica el consumo de energía liberada por el músculo a partir del ATP y con origen principalmente en la combustión aeróbica de la glucosa por lo que todo aumento en la actividad muscular, tal como ocurre en el ejercicio, implica un aumento en el consumo de oxígeno. Se ha demostrado que el simple hecho de mantener la postura erguida o en pie, determina una actividad muscular que aumenta la termogénesis. En los rumiantes se ha comprobado el incremento en un 10% de la producción de calor cuando están erguidos al compararse cuando se encuentra echados o en decúbito. De lo antes expresado podemos inferir la importancia del incremento en la producción de calor adicional como respuesta ante el frío ya sea mediante la contracción voluntaria de la musculatura esquelética o por la actividad muscular involuntaria tónica o rítmica de la misma, es decir, los escalofríos y temblores.

El metabolismo basal se corresponde con los procesos que garantizan la vida misma al mantener constantes las condiciones del medio interno en un mínimo de actividad asegurando el recambio dinámico de los constituyentes celulares y de las estructuras de sus órganos, la conservación de los gradientes de concentración, las secreciones glandulares básicas, el tono muscular mínimo, los movimientos respiratorios, la actividad cardiaca, etc. La tasa metabólica basal es la velocidad del metabolismo energético medido durante condiciones de estrés mínimo al inicio del periodo de actividad principal de la especie animal, en la mañana para los animales de vida diurna o al anochecer en los animales de vida nocturna, en reposo (preferentemente en decúbito), en ayunas y a temperatura ambiental indiferente o neutral y temperatura corporal normal. La temperatura se relaciona con la especie animal siendo de 35<sup>0</sup> C en el gorrión, 29<sup>0</sup> C en la paloma, 34<sup>0</sup> C en el ratón y 30<sup>0</sup> C en la persona desnuda. Para la determinación del metabolismo basal debe garantizarse que el individuo no este sometido a efectos modificantes tales como gestación, estrés alimentario, agresión de una enfermedad, etc entre otros factores.

La tasa metabólica basal es mayor en los animales homeotermos que en los poiquilotermos porque los primeros requieren generar calor para mantener la estabilidad de la temperatura corporal. La tasa metabólica por Kg de peso corporal es mayor en los mamíferos pequeños que en los grandes. Bajo condiciones idénticas, las pérdidas de calor de los animales de sangre caliente pueden considerarse aproximadamente proporcionales al área de su superficie, pero para animales de conformación comparable, cuanto más grande es el cuerpo y por consiguiente cuanto más pesado, tanto menor será en proporción, su superficie corporal, ya que el volumen y por lo tanto el peso aumentan al cubo en las dimensiones lineales y el área de la superficie al cuadrado. De aquí que puede considerarse que en un ambiente frío un cuerpo de gran tamaño con una superficie relativamente pequeña y en consecuencia una reducida pérdida calórica, habrá de llevar ventaja, mientras que en ambientes cálidos la ventaja será para el animal pequeño que posee una superficie corporal relativamente grande lo que le facilita la disipación del calor. Lo antes expresado pudiera explicar el porque las especies animales de clima frío tienden a ser más grandes que las de clima caliente. Modificaciones de superficie corporal como la longitud de las orejas, patas y rabo, la conformación del cuello y el plegamiento cutáneo, son adaptaciones naturales en función a las condiciones ambientales en que viven los animales.

En el análisis de las cuatro condiciones necesarias para determinar el metabolismo basal se manifiestan los posibles indicadores que influyen sobre el metabolismo energético. El momento del día en que se determina es importante por cuanto el metabolismo energético está sometido a oscilaciones circadianas como su aumento en la mañana y su descenso en la tarde para los animales de hábitos diurnos. La condición de reposo es necesaria porque tanto el trabajo físico corporal en general como el trabajo intelectual en el humano, aumentan el metabolismo energético al incrementar el número de células con metabolismo por encima del nivel de disponibilidad. El ayuno se explica debido a que la ingestión de alimentos, especialmente de proteínas, incrementa el metabolismo energético no solo por la "actividad digestiva" sino también por los procesos que ocurren a continuación. La termoneutralidad es otra condición debido a que temperaturas por encima o por debajo del rango térmico de confort de la especie deciden repuestas modificantes del metabolismo energético.

El incremento del metabolismo basal que traduce su transformación en metabolismo activo, produce un aumento importante en la producción de calor con el lógico incremento en el consumo de oxígeno. En la rata se ha puesto de manifiesto que la mitad del calor producido durante la exposición al frío depende de la termogénesis en ausencia de escalofríos y por lo tanto del aumento del metabolismo basal. La entrada en funcionamiento del metabolismo activo como respuesta generadora de calor ante condiciones ambientales frías, responde en primer lugar a mecanismos neuroendocrinos que regulan la secreción de las catecolaminas (adrenalina y noradrenalina) y de tiroxina. Las catecolaminas producen un incremento rápido, pero de corta duración, en la producción de calor ya que favorecen la glucogenólisis hepática. Las hormonas del tiroides (triiodotironina y tiroxina) determinan un aumento

lento, pero prolongado, de la producción de calor porque favorecen todas las oxidaciones celulares incrementando notablemente el metabolismo basal. La termogénesis sin temblor se observa en los recién nacidos y en los animales adaptados al frío e hibernantes. El llamado tejido adiposo marrón se caracteriza por su riqueza en mitocondrias y vascularización así como su distribución multifocal de grasa localizándose en la región ínter escapular y en las axilas, alrededor y entre los músculos del cuello y la espalda, la ingle y en masas de tejido que rodean las vísceras abdominales y torácicas, aunque los depósitos más importantes se encuentran alrededor de los riñones y de las glándulas adrenales. El tejido adiposo marrón varía según la región corporal y la especie animal; en la mayoría de las especies desaparece poco después del nacimiento excepto en la rata y en los animales hibernantes en los que persiste durante toda la vida adulta como un órgano funcional activo generador de calor.

La ingestión de alimentos aumenta la producción de calor tanto por procesos físicos (masticación, deglución, actividad motora gastrointestinal) como por procesos químicos (digestión y absorción de nutrientes). El efecto calórico del alimento difiere según la clase de nutriente ingerido correspondiéndole a la digestión proteica la mayor proporción. En los rumiantes, la actividad fermentativa del saco retículo-ruminal se constituye en una fuente extra de calor capaz de generar hasta un 10% de la producción total básica del animal. En un estudio en bovinos sobre la influencia del método de conservación del alimento sobre la temperatura corporal, se comprobó que el valor medio de la temperatura rectal fue mayor para los animales que consumieron el forraje verde ( $38,90^{\circ}$ ) que para los que consumieron el mismo forraje pero ensilado ( $38,14^{\circ}$ ). En la hembra bovina gestante, el metabolismo fetal unido a los diversos procesos corporales de la madre, incrementa la producción de calor. La lactación se constituye también, en una fuente generadora extra de calor para la hembra. La hembra bovina alta productora de leche puede duplicar su producción de calor lo que tiene que tomarse muy en consideración en los países de clima caliente para protegerlas del estrés térmico.

De la misma forma que los animales radian calor hacia los objetos más fríos, recibirán calor de estos objetos cuando estén más calientes. En condiciones naturales le corresponde a los rayos solares ser la fuente más importante de ganancia de calor directa e indirecta para los animales. Una parte de la radiación calórica solar es reflejada por el cuerpo animal que será mayor en los animales de piel despigmentada (blancos) que en los de piel pigmentada (negros). En condiciones ambientales de muy bajas temperaturas, los animales como el oso polar a pesar de tener un pelaje blanco presenta su piel pigmentada (negra) lo que le garantiza una mayor ganancia del calor radiante del medio por absorción. La cantidad de calor solar absorbido por el ganado bovino puede ser hasta tres veces mayor que el generado por su actividad metabólica de manera que en clima cálido los animales deben de tener la posibilidad de protegerse del sol, naves de sombras o árboles, en las horas de mayor intensidad de radiación solar. Una forma indirecta de ganar calor se corresponde con las radiaciones infrarrojas de los objetos sólidos (tierra, rocas, paredes, etc.) que refractan la luz solar.

## **- Pérdidas de calor (Termólisis)**

El proceso de la termólisis o pérdida de calor comprende dos vías principales: la termólisis insensible que se corresponde con la pérdida de calor por radiación, conducción, convección, evaporación y excreción (heces fecales y orina) y la termólisis sensible que se relaciona con el proceso de la sudoración y/o el jadeo.

La mayor parte del calor que producen los animales se pierde positivamente por radiación, conducción o convección al ser generalmente la temperatura corporal mayor que la ambiental lo que responde al principio físico del gradiente térmico (del área mas caliente al área menos caliente) por lo que en caso de que ambas temperaturas sean idénticas estas vías de disipación calórica se anulan y de ser mayor la temperatura ambiental que la corporal entonces se convierten en vías termogenéticas y no termolíticas por lo que el calor se transferiría entonces del medio al animal sobrecalentándolo.

El flujo de calor perdido por radiación alcanza valores aproximados al 60% del calor total disipado por el animal constituyéndose en la forma más importante de pérdida y siempre hacia objetos que no están en contacto con el cuerpo animal. De estar los objetos en contacto con el cuerpo animal entonces la pérdida de calor se produce por conducción aunque mediante esta forma se elimina menor cantidad de calor (alrededor del 30%), no obstante todo depende del gradiente térmico o diferencia de temperatura entre el animal y los objetos, y de la conductividad térmica de los objetos. Por último la pérdida de calor mediante corrientes de moléculas (aire o agua) se corresponde con la convección y es una forma indirecta de perder calor que coopera con la pérdida por conducción. Se establecen dos tipos de convección, una natural producto de la elevación de pequeñas corrientes de aire desde una superficie caliente y la forzada generada por el viento, una corriente de agua o el desplazamiento del cuerpo sobre la superficie terrestre, que incrementa la eliminación del calor. En condiciones normales la superficie del cuerpo esta rodeada por una pequeña película de aire tranquilo (capa límite) gracias a la cual, al ser prácticamente inmóvil, no permite transferencia calórica por convección sino que se hace por el proceso mas lento de la conducción lo que coopera en la retención del calor corporal. Se plantea que aproximadamente el 12 % del calor perdido se debe ordinariamente al proceso de convección de las corrientes de aire. La forma de disipación del calor por las vías excretoras a través de la orina y las heces fecales se constituye también en formas insensibles de perder calor.

La pérdida de calor por evaporación es la pérdida insensible mediante el vapor de agua por la piel y el sistema respiratorio. La evaporización cutánea esta muy relacionada con el grado de saturación higrométrica del aire (humedad relativa) incrementándose mientras mas baja sea esta. La evaporación es una forma insensible de perder calor por cuanto la piel se reseca sin llegar a su humedecimiento como ocurre con el sudor. La conversión del agua de su estado líquida al gaseoso requiere energía, absorbe calor, por lo tanto, si se evapora agua en cualquier área superficial del cuerpo animal, la temperatura de esta disminuye. Consecuentemente, los sistemas cutáneo y respiratorio se convierten en zonas termolíticas y bajo determinadas circunstancias

pueden llegar a ser las formas más importantes desde el punto de vista termorregulador. De hecho la termolisis sensible respiratoria mediante el jadeo es vital para múltiples especies animales, mientras que la termolisis sensible cutánea a través del sudor lo es para otras.

El sudor es una forma sensible de perder calor mediante la piel. El agua secretada por las glándulas sudoríparas a la superficie cutánea se evapora por efecto de ganancia del calor dérmico lo que produce una acción refrescante de la piel incrementando la pérdida de calor. La abundancia de glándulas sudoríparas varía según la especie animal estando bien distribuidas en el caballo, en menor proporción en los rumiantes y limitadas a las almohadillas plantares y pulpejos en los carnívoros. Las glándulas sudoríparas se clasifican en ecrinas, las que drenan directamente a la superficie cutánea y apocrinas, las que lo hacen a través de la luz del folículo piloso. Los mamíferos de pata hendida desarrollan la sudoración termorreguladora sobre la base de las glándulas apocrinas mientras que en los primates este papel le corresponde a las glándulas ecrinas. Para convertir en vapor de agua un litro de agua se necesitan 580 kilocalorías que el cuerpo debe aportar según sea la temperatura de la piel y la temperatura y humedad del aire. La pérdida de calor por la vía respiratoria es inversamente proporcional a la pérdida de calor por la sudoración. En función a la capacidad de sudar, esta será la forma primaria de disipar calor para animales como el caballo mientras que en especies que prácticamente no sudan como el perro le corresponderá al jadeo ser la forma primaria.

Todos los mamíferos placentarios, excepto roedores y lagomorfos, presentan glándulas sudoríparas aunque en algunas especies como el perro y el cerdo su escaso desarrollo impiden un papel significativo en el mecanismo de la pérdida de calor. El control nervioso de la sudoración depende de la especie animal por lo que no es uniforme y así tenemos que en el caballo la descarga termorreguladora es de control adrenérgico sobre las glándulas apocrinas y en el bovino es de estimulación simpática noradrenérgica. En el humano depende de la estimulación de las fibras simpáticas colinérgicas que inervan las glándulas ecrinas. El sudor a escala glandular es isotónico respecto al plasma sanguíneo pero a medida que avanza por los conductos de secreción es modificado por procesos de reabsorción-secreción no estables porque dependen de la velocidad de la secreción. Cuando la velocidad de secreción es lenta prácticamente se reabsorben todos los iones de cloro y sodio que por arrastre osmótico del agua determinan un sudor escaso y de alta concentración en urea, ácido láctico e iones de potasio, pero cuando la velocidad secretora aumenta, como ocurre en ambiente caliente, la poca reabsorción de sodio y cloro retienen el agua en el sistema conductor incrementando el volumen de descarga de un sudor diluido. La aldosterona, un mineralocorticoide de la corteza adrenal, estimula la reabsorción de sodio y la excreción de potasio al igual que en el sistema tubular de las nefronas renales por lo que reduce el flujo de sudor a la superficie cutánea.

En el humano las glándulas apocrinas se localizan en determinados lugares del cuerpo como son las axilas, la región del ano, la piel de la frente y los labios mayores vulvares en la mujer estando relacionado su desarrollo con la madurez sexual; la secreción de

estas glándulas es rica en sustancias del metabolismo proteico que al descomponerse sobre la superficie de la piel le confiere un olor específico fuerte y característico a dichas áreas. El mecanismo excretor de estas glándulas es de naturaleza adrenérgica por lo que las descargas de las mismas se asocian al sudor de miedo o ansiedad. El otro tipo de glándulas sudoríparas, diseminadas por toda la piel, son las ecrinas que responden a un control colinérgico y se asocian al sudor termorregulador.

El jadeo es una forma de elevar la evaporación por el tracto respiratorio. Los volúmenes tidales pequeños se mueven a frecuencias rápidas sobre el espacio muerto respiratorio por lo que el jadeo se presenta cerca de la frecuencia de resonancia del sistema de manera tal que el trabajo de la respiración disminuye y no se añade a la carga de calor. La vasodilatación vascular de la mucosa respiratoria y bucal acompañada de un incremento en la producción salival aumentan las pérdidas de calor. Al ventilarse primero el espacio muerto de las vías de conducción aéreas se impiden la alcalosis respiratoria y la hiperventilación grave. En las aves, el llamado aleteo del gáznate representa otro método para acrecentar el flujo de aire sobre el espacio muerto respiratorio; en los mamíferos como el caballo y el humano que no jadean, la pérdida de calor por evaporación en el tracto respiratorio aumenta durante el ejercicio prolongado, al elevarse la ventilación del espacio muerto. Las ovejas sudan pero también el jadeo es de considerable importancia. Los pequeños roedores que no pueden sudar ni jadear, aumentan la evaporación cutánea esparciendo saliva o agua sobre su capa de pelo tal como hacen los gatos (lavado de gato) y los conejos sobre la capa de lana. El jadeo se acompaña de la apertura amplia de la boca, profusa insalivación (sialorrea), protusión de la lengua e ingurgitación vascular de la mucosa buco-respiratoria que incrementan la pérdida de calor por evaporación. El jadeo se conceptúa como la forma más generalizada de pérdida de calor por evaporación en los mamíferos y a los efectos evolutivos su ausencia en algunas especies como el camello y el humano parecen ser más una pérdida de su función que un fallo en su adquisición.

Para el mantenimiento del balance térmico capaz de garantizar la condición homeotérmica de los vertebrados superiores, en el cuerpo animal tiene que establecerse un equilibrio adecuado entre la ganancia y la pérdida de calor. El mecanismo de la termorregulación asegura el nivel estable de la temperatura corporal independientemente a la temperatura ambiente. Para ganar calor se instauran una serie de respuestas con el doble objetivo de aumentar la producción y reducir las pérdidas, mientras que en el caso de disipar calor se produce el efecto contrario por lo que se incrementan las pérdidas y disminuye la producción del calor. Es importante precisar que la constancia térmica, como indicador del medio interno, se desarrolla solamente sobre la temperatura de núcleo ya que le corresponde a la temperatura de superficie, en su relación con la temperatura ambiente sufrir las amplias oscilaciones térmicas protectoras de la temperatura de núcleo.

#### **- Sistema Termorregulador.**

El sistema termorregulador del cuerpo animal se estructura en un complejo mecanismo que tiene como sub-sistemas a los receptores, la vía aferente, el centro de control, la vía eferente y los órganos ejecutores.

1.- Receptores: Las células sensitivas térmicas o sensores térmicos para el frío y el calor están localizadas en la superficie cutánea (receptores periféricos), en la región pre-óptica del hipotálamo anterior (receptores centrales) y en otras partes del cuerpo como en el sistema digestivo a nivel de la mucosa de la boca, faringe, esófago, estomago y recto, en el sistema nervioso en la región inferior del tronco del encéfalo y bulbo, en la medula espinal y en la musculatura esquelética (receptores de núcleo). Los receptores de núcleo localizados en la medula espinal muestran una alta termosensibilidad al calor. El aumento en pocas décimas de grado de la temperatura a todo lo largo de la medula espinal produce en el perro y otros animales, respuestas disipadoras térmicas como el jadeo, la vasodilatación cutánea y la inhibición central en la producción de calor. La amplia distribución de los receptores termosensibles en todo el cuerpo garantiza la instauración de un complicado sistema de control informativo capaz de tomar en cuenta el estado térmico total del organismo (multiple input system). Los termosensores cutáneos se localizan en la dermis; los del frío (Corpúsculos de Krause) son mas numerosos y presentan una distribución mas regular en la piel que los termosensores para el calor (Corpúsculos de Rufini).

2.- Vías nerviosas aferentes: Se corresponden con las vías que relacionan a los receptores con los centros nerviosos superiores como la médula espinal, el hipotálamo, el sistema límbico y la corteza cerebral. El sistema vial informativo aferente comprende al fascículo espinotalámico para los receptores cutáneos del cuello, tronco y extremidades, el núcleo caudado del V par craneal (trigémino) para la piel de la cara y los cordones antero laterales medulares para los termosensores de la médula espinal. Los termosensores de núcleo se relacionan con los centros mediante los fascículos de Goll y Burdach (cordones posteriores o dorsales de la médula), el fascículo espinotalámico y las fibras vegetativas. En principio, una parte de las aferencias cutáneas llegan al hipotálamo por vía multisináptica mediante la región sub-coerulea y los núcleos del rafe del tronco encefálico inferior.

3.- Centros de control y balance térmico: Son los responsables de la respuesta del cuerpo animal como un todo ante las influencias térmicas, externas e internas, que afectan la homeostasia. El centro termorregulador principal se localiza a nivel hipotalámico y establece relación funcional con el sistema límbico y la corteza cerebral para las manifestaciones externas de conducta y actitud. El sistema integrador termorregulador comprende un circuito de elementos neuronales complejos integrado a donde llegan axones de las aferencias térmicas procedentes de los termosensores, axones de interneuronas localizadas a lo largo del nivel encefálico bajo que permiten la relación funcional entre los diferentes segmentos nerviosos para la complejidad de la respuesta integral y axones de neuronas eferentes hipotalámicas que se activan directamente o mediante el sistema de interneuronas a los efectos periféricos. Ante el frío, la estimulación de sus termosensores genera impulsos nerviosos que mediante las aferencias térmicas, activan las neuronas eferentes para la producción de calor al

tiempo que mediante el sistema de interneuronas se inhiben las neuronas aferentes para la disipación del calor. La respuesta ante el calor determina un efecto contrario.

4.- Vías de conexión aferentes: Comprende la relación neuroendocrina entre los centros de control térmicos y los órganos efectores responsables de la producción y la pérdida del calor. Las neuronas eferentes hipotalámicas establecen conexiones nerviosas que permiten una triple respuesta: la vía central del temblor al conectarse el hipotálamo posterior con los núcleos motores reticulares, la regulación de la vasomotilidad mediante la relación con el fascículo telencefálico medial y la conexión con la corteza por fibras hipotalámicas-corticales directas o indirectas, vía sistema límbico, para a través del fascículo corticoespinal relacionarse con la musculatura esquelética en la respuesta de conducta y actitud. La vía eferente endocrina contempla el sistema portal hipotalámico-hipofisiario para el control de la producción hormonal adenohipofisiaria y el sistema hipotalámico-simpático para la descarga de catecolaminas ante el estrés térmico por frío.

5.- Órganos ejecutores de la termorregulación: Son los responsables de efectuar las respuestas termorreguladoras físicas y químicas en donde el sistema cardiovascular desempeña un importante papel al producir ajustes circulatorios según la necesidad corporal. En principio el calor se produce principalmente por la musculatura esquelética y el hígado y se disipa por la piel y la respiración por lo que debe redistribuirse por el cuerpo. Los tejidos tienen una conductividad térmica similar a la del corcho lo que hace que no sean un medio eficaz para la distribución del calor, de ahí la importancia del sistema cardiovascular al ganar la sangre calor cuando perfunde un órgano metabólicamente activo y transferirlo hacia las partes más frías del cuerpo mediante la circulación.

El sistema termorregulador tiene su centro funcional a nivel hipotalámico. Se considera al área hipotalámica posterior, que no posee ninguna termosensibilidad especial, como el centro integrativo de la termorregulación y sus neuronas ven afectada su actividad, es decir, la generación de impulsos tanto por influencias de la región preóptica del hipotálamo anterior como de la región cervicotoracal de la medula espinal. El hipotálamo anterior se asocia con los mecanismos de pérdida de calor mientras que el hipotálamo posterior se correlaciona con los mecanismos de producción de calor. Le corresponde a la región pre-óptica del hipotálamo anterior la mayor termosensibilidad tanto a la temperatura de la sangre (temperatura de núcleo) como a la temperatura de la piel (temperatura de superficie) estableciéndose un circuito de relación funcional en donde no existe separación espacial absoluta entre las funciones receptoras e integrativas para la elaboración de la respuesta precisa ante las influencias térmicas externas e internas.

Al tomar en consideración que la producción de calor es un proceso normal dado por la propia vida celular, mientras que la pérdida de calor es un fenómeno lógico de intercambio con el medio en función al gradiente térmico, podemos entonces establecer que producir calor se debe a procesos activos mientras que disipar calor en principio se corresponde con procesos pasivos. De lo antes señalado se explica el funcionamiento

del centro termorregulador hipotalámico (centro termostático) que al activarse ante el calor o el aumento de la temperatura corporal incrementaría la generación de impulsos nerviosos hacia el hipotálamo posterior deprimiendo su actividad generadora de calor manifestándose entonces la acción termolítica del hipotálamo anterior. Por el contrario el frío o el descenso de la temperatura corporal produce una reducción significativa en la generación de impulsos depresores hacia el hipotálamo posterior y este responde incrementando la producción de calor al tiempo que se reducen las pérdidas por depresión del hipotálamo anterior. La actividad reguladora del centro termostático ante la fluctuación térmica externa o interna depende por lo tanto en su estimulación y de su relación con el hipotálamo posterior.

El hipotálamo es por lo tanto la estructura nerviosa responsable de fijar y mantener el nivel de referencia térmica por lo que en función a la información nerviosa originada en los receptores térmicos periféricos o la temperatura de la sangre que lo irriga procedente de la temperatura de núcleo pondrá en marcha los mecanismos de pérdida o producción de calor. Como consecuencia de ello se producirá un efecto de disminución o aumento de la temperatura de la sangre para su aproximación al nivel de referencia térmica mediante las señales de control neuroendocrinas.

La respuesta termorreguladora establece procesos cada vez más complejos según la eficiencia que se necesite. Cuando se aplica calor o frío a una zona cutánea la respuesta térmica es netamente local mediante el nivel nervioso interesado (respuesta medular) que producirá un cambio en la irrigación sanguínea en el área, es decir, vasodilatación o vasoconstricción según sea calor o frío respectivamente. Al producirse una influencia térmica ambiental general sobre los receptores periféricos entonces la respuesta se hace más compleja ya que las vías sensitivas informan al centro termostático hipotalámico (respuesta hipotalámica) que desencadena múltiples reacciones fisiológicas conducentes a la pérdida o producción de calor según sea el tipo de respuesta homeostática requerida al tiempo que se envían impulsos nerviosos hacia el sistema límbico y la corteza cerebral que refuerzan las señales de percepción conscientes del sentido del tacto provocándose la respuesta cortical que determina cambios de conducta tales como ir hacia la sombra ante el calor o exponerse al sol ante el frío y cambios de aptitud como el enrollamiento del cuerpo ante el frío o la total extensión del mismo ante el calor.

En condiciones normales cuando la temperatura corporal es estable, la información procedente de los receptores periféricos modifica la actividad del centro termostático propiciando la respuesta ante el frío o el calor ambiental, ahora bien cuando la temperatura corporal se modifica ya sea en incremento (hipertermia) o descenso (hipotermia) el centro termostático responde todo el tiempo a la estimulación de los receptores hipotalámicos según la temperatura de la sangre desencadenando la respuesta adecuada para corregir la alteración térmica de núcleo independientemente a la temperatura ambiental. Se infiere por lo tanto que la temperatura de la sangre procedente del núcleo térmico tiene un efecto estimulador hipotalámico más potente que la información térmica de los receptores periféricos cutáneos o lo que es lo mismo,

la temperatura corporal es un estímulo más poderoso que la temperatura ambiental para el mantenimiento de la homeotermia.

### **- Defensa contra el calor.**

La defensa contra el calor se ejecuta en dos direcciones: el aumento en la disipación del calor y la disminución en la producción del mismo. Entre los factores que aumentan la pérdida de calor tenemos la sudoración, el jadeo, el incremento de la circulación cutánea, el aumento de la conductancia térmica, el incremento de las pérdidas insensibles de agua por la superficie cutánea ( radiación-conducción) y por el movimiento del aire o del agua (convección),etc. La disminución en la producción de calor se debe a la pérdida del apetito (inapetencia), reducción del metabolismo como consecuencia de un descenso en la actividad tiroidea, el reposo o tranquilidad del animal, etc.

. La relación inversamente proporcional que se establece entre el sudor y el jadeo esta determinada por la temperatura de la piel. Los animales que sudan poco y por lo tanto tienen la piel caliente tienden a presentar una intensa actividad respiratoria mientras que aquellos que sudan copiosamente al tener una piel fría, presentan una actividad respiratoria relativamente estable. Lo antes expresado explica porque el jadeo actúa como una segunda línea de defensa al complementar el ciclo de una sudoración inadecuada. Otras dos vías de evaporación de agua son el chapoteo y la insalivación que se consideran procesos primitivos de control térmico ya que responden a mecanismos de comportamiento que involucran integraciones complejas a nivel del sistema nervioso central y no a mecanismos puramente autonómicos como son el jadeo y la sudoración. La entrada en juego de cualquiera de los mecanismos evaporativos como respuesta termorreguladora tiene la ventaja de disipar calor pero la desventaja de que se pierden agua y sales como ocurre con la insalivación y la sudoración por lo que atenta contra otros indicadores homeostáticos del medio interno mientras que el chapoteo es el más noble al no producir pérdida del agua corporal ya que los animales que lo ejecutan utilizan el agua del medio ambiente sin afectación de su equilibrio hídrico.

En animales como los bovinos, cuyas glándulas sudoríparas son de tipo apocrino y por lo tanto relacionadas con los folículos pilosos desde el nacimiento, se produce un fenómeno interesante ya que a medida que aumenta la superficie corporal por el crecimiento somático de desarrollo, disminuye el número de glándulas por unidad de superficie pero no se reduce la capacidad de sudar ya que las glándulas existentes incrementan su volumen y por lo tanto su ritmo de descarga de manera que se mantiene la capacidad de sudar por área de superficie. Las zonas de mayor sudoración en el bovino se ubican en el cuello y en los cuartos delanteros y en el *Bos indicus* (Cebú) se descarga también abundantemente en la giba.

Los ajustes circulatorios ante el calor se corresponden con la vasodilatación cutánea que incrementa la irrigación sanguínea de la piel y por lo tanto la transferencia de calor

desde los tejidos profundos hacia la superficie lo que aumenta la conductancia térmica al elevarse la temperatura superficial permitiendo la disipación de gran cantidad de calor por radiación, conducción y convección. Por lo general la vasodilatación cutánea es mayor en las partes del cuerpo que tienen una proporción grande de volumen / superficie como son las orejas, patas lengua y zonas que tienen poco pelo o que carecen por completo de este. El control autónomo termorregulador superficial depende de la acción por parte del simpático adrenérgico sobre el tono vasomotor periférico, especialmente en las extremidades, lo que permite variar el tono arteriomotor que controla el flujo sanguíneo a través del lecho capilar superficial, y el tono venomotor que controla la ruta a través de la cual se establece el retorno venoso. En caso de que el cuerpo necesite conservar el calor, el retorno venoso se ejecuta por las venas profundas estrechamente unidas a las arterias lo que establece un mecanismo de intercambio calórico del tipo de la contracorriente por lo que la sangre arterial cede su calor a la sangre venosa antes de llegar a la red capilar posibilitando la retención del calor y su reincorporación hacia la temperatura de núcleo. Ahora bien, cuando se necesita disipar calor entonces la sangre venosa se conduce preferentemente por las venas superficiales separadas de las arterias permitiendo que la sangre caliente conducida por estas al llegar a la red capilar posea una temperatura superior garantizándose el gradiente térmico de disipación.

La anatomía de los sistemas intercambiadores vasculares de calor ha sido descrita en muchas especies acuáticas y en aves y mamíferos terrestres pero el dispositivo vascular varía notablemente entre las diferentes especies. En cualquier caso la presencia de venas no acompañadas de arterias puede asegurar una actividad circulatoria selectiva según sea la necesidad de disipar o retener calor. También se logra cierta disminución de la temperatura corporal en la muda inducida por las estaciones del año. Además, en virtud de su lisura y brillo, los pelajes de verano reflejan mejor la luz solar lo que reduce la absorción de calor.

Los mecanismos controladores de disipar el calor como respuesta ante la elevación de la temperatura ambiental no actúan todos al unísono desde el principio sino que van entrando escalonadamente según la intensidad del calor. Ante el calor moderado se produce una vasodilatación periférica que disipa el calor al incrementar la radiación y la conducción; a medida que el medio se vuelve más cálido, se intensifica la evaporación por la piel (sudor) o por la respiración (jadeo) según la especie animal al tiempo que los animales ejecutan respuestas de conducta como es el situarse a la sombra en zonas frescas. Si los sistemas antes mencionados no compensan la necesaria pérdida de calor, por lo que se mantiene el intento de incremento de la temperatura corporal, entonces se hace necesario reducir la producción de calor por lo que disminuye la actividad tiroidea lo que deprime el metabolismo corporal que repercute negativamente sobre la ingestión de alimentos (inapetencia). La forma escalonada en que van entrando en juego los sistemas controladores de la disipación del calor sugiere una pauta en la elevación del costo de energía. La vasodilatación reclama muy poca energía, el sudor necesita más mientras que el jadeo, al forzar la mecánica respiratoria aumenta la actividad mecánica de los músculos inspiradores y espiradores por lo que es la forma que demanda mayor energía.

Como respuesta conductual termorreguladora ante el calor, los mamíferos se revuelcan en agua, fango o tierra fresca, hozan el suelo en busca de la capa húmeda o menos caliente,, lamen la superficie del cuerpo, realizan pastoreo nocturno y seleccionan alimentos jugosos entre otras acciones mientras las aves extienden las alas, se echan agua sobre la cresta, chapotean y en caso de estar incubando humedecen los huevos. Las altas temperaturas deprimen el apetito (anorexia), incrementan el consumo de agua, reducen las actividades locomotoras, estimulan a los animales a echarse al piso separados entre sí y con el cuerpo extendido así como estimulan el humedecimiento del cuerpo con agua o con saliva y conductas que los llevan a buscar microclimas de temperatura mas bajas y agradables.

En el proceso evolutivo de adaptación de las especies ante el calor se describen indicadores como la alzada (animales de cuerpo pequeño y extremidades largas), el incremento de la superficie cutánea (como se señala en el Cebú al presentar papada, giba, pliegue escrotal y orejas grandes) en la histología de la piel (glándulas sudoríparas, grosor y color), en las características del pelaje (cualidades inherentes al pelo) y en el sistema digestivo (para optimizar la digestión de alimentos fibrosos).

#### **- Defensa contra el frío.**

El sistema general de respuesta del cuerpo animal en su defensa contra el frío contempla una doble dirección: disminuir las pérdidas de calor y aumentar la producción de este. Se disminuye la pérdida de calor mediante un cambio en la distribución del flujo sanguíneo cutáneo al producirse vasoconstricción periférica y por el aumento del aislamiento de superficie (interacción piel-pelaje). La producción de calor se incrementa por el ejercicio físico, el escalofrío, el aumento imperceptible de la tensión muscular, el incremento del metabolismo y la ingestión de alimentos con su consiguiente acción dinámica específica. La respuesta comportamental de los animales ante el frío se manifiesta al observarse el agrupamiento de estos, la elección de áreas soleadas y protegidas del viento y el enrollamiento de sus cuerpos que reduce la superficie de intercambio con el medio ambiente.

La disminución en la pérdida de calor por radiación y conducción como resultado de la vasoconstricción periférica esta dada por la característica de retorno del flujo venoso que se ejecuta por el sistema de venas profundas. Para la exposición al frío y como consecuencia de los cambios climáticos estacionales, los animales se preparan al aumentar el sistema de aislamiento de su superficie de intercambio que comprende el elemento interno por modificaciones cutáneas y el aislamiento externo producido por la interacción pelaje-aire.

El aislamiento interno se debe a una disminución de la conductancia térmica a través de los tejidos periféricos debido a los cambios del grosor y densidad de la piel unida a la vasoconstricción periférica y por el grosor y distribución de la grasa subcutánea. Los cambios en la conductancia térmica de la piel son de mayor importancia en la defensa contra el frío en los animales de mayor tamaño que en los pequeños.

La disminución de la temperatura de superficie producto a la vasoconstricción periférica (cutánea y subcutánea) reduce el gradiente térmico entre la piel y el medio ambiente por lo que disminuye la pérdida de calor. Correspondientemente, este efecto incrementa el gradiente térmico interno entre la temperatura de núcleo y la temperatura de superficie pero el flujo de calor permanece inalterado e incluso puede disminuir según sean las propiedades del tejido subcutáneo. En todas las especies animales el tejido adiposo subcutáneo posee un efecto aislante pero alcanza su mayor importancia fisiológica en los mamíferos acuáticos y en el cerdo. La obtención del máximo de vasoconstricción periférica como respuesta física rápida ante el descenso de la temperatura ambiente puede aumentar hasta tres veces el poder aislante de la piel en los bovinos y hasta seis veces este efecto en el humano.

El aislamiento externo dado por la relación pelaje-aire incrementa la resistencia térmica al flujo calórico desde la piel hacia el medio ambiente. El objetivo del aumento en el pelaje como respuesta ante el frío es atrapar un mayor volumen de aire en contacto relativamente estable con la piel de manera tal que al ser el aire un mal conductor térmico entonces la piel intercambia con la capa de aire atrapado (aire inmóvil) y este a su vez con el aire del medio ambiente (aire móvil) garantizándose el efecto aislante. Se plantea que el efecto retenedor de calor del pelaje depende casi por completo del aire entrampado que ocupa más del 95% del volumen del pelaje. El aislamiento del pelaje va aumentando lentamente a medida que se va produciendo el crecimiento del pelo del verano para el invierno. Le corresponde a la estación otoñal con su descenso paulatino de la temperatura ambiente ir propiciando el estímulo térmico que produce el crecimiento del pelo corporal y por lo tanto la preparación del pelaje animal para la temperatura fría invernal. El viento y la lluvia sean por separados o unidos llevan a la destrucción parcial del aislamiento proporcionado por el pelaje. El efecto destructor del viento respecto al aislamiento proporcionado por el pelaje disminuye al aumentar la densidad de este, por lo que es menos efectivo en el siguiente orden de especies animales: cerdo, caballo, vaca, carnero, conejo y caribú. Los pelos y plumones finos y lanudos se insertan profundamente en la piel y atrapan el mayor volumen de aire mientras que las plumas y los pelos fuertes se sitúan por encima de ellos ejerciendo una función protectora.

La importancia del aislamiento externo depende de la capacidad de transmisión térmica. La pluma y el pelo tienen un aprovechamiento aislante de malos conductores tan altos como el aire sin embargo la capacidad de la grasa y la piel del cerdo es casi siete veces mayor, la de la musculatura 20 veces y la del agua 25 veces. La erección de pelos o plumas es operada por músculos cutáneos excitados por fibras nerviosas simpáticas. Tanto el plumaje como el pelaje invernal son adaptaciones estacionales del aislamiento térmico a los fríos intensos. En el hombre la "piel de gallina" no es más que un rezago ineficaz de la capacidad de abrir el pelaje o el plumaje, erizarse y así reforzar la capa de aire aislante. El aislamiento producto del pelaje es particularmente importante para los animales árticos, pues si estos hubiesen de mantener el equilibrio calórico por el aumento del metabolismo entonces el consumo de alimentos sería enorme.

El aumento en la producción de calor como respuesta ante el frío constituye la otra vía que garantiza mantener la homeotermia. Estos procesos de termogénesis química alcanzan un mayor valor en los animales de pequeño tamaño. En el animal homeotermo las fuentes más importantes de producción de calor se corresponden con la actividad muscular por una parte y las reacciones bioquímicas dependientes del sistema endocrino por otra. La temperatura ambiente a partir de la cual se comienza a aumentar la producción de calor como defensa contra el frío se denomina temperatura crítica mínima. Por debajo de la temperatura crítica mínima (TCMin) el consumo de oxígeno aumenta linealmente a medida que disminuye la temperatura por lo que un incremento de la tasa metabólica se acompaña de la respuesta más simple de producción de calor mecánico-químico: el escalofrío.

La producción de calor por incremento de la actividad muscular como respuesta ante el frío puede producirse bajo control cortical a través del ejercicio o el movimiento muscular voluntario o bajo control de los niveles medular y encefálico bajo como respuesta involuntaria que produce un aumento imperceptible del tono muscular así como el escalofrío por acción del sistema neurovegetativo. El descenso de la temperatura corporal media desencadena el escalofrío como respuesta de emergencia rápida. El escalofrío consiste en la contracción sincrónica repetida de los músculos flexores y extensores por influencia vegetativa. De no ser el escalofrío intenso se puede controlar voluntariamente y por lo tanto ser anulada esta respuesta termorreguladora en cierta forma desagradable.

En el curso del desarrollo evolutivo en la respuesta al frío continuado, se manifiesta una tendencia general a defenderse con menos gastos de energía por lo que las especies de animales fueron abandonando paulatinamente la adaptación metabólica en favor de la adaptación por aislamiento. Sin embargo, en ambos tipos de adaptación al frío se producen, por una parte, respuestas de acción rápida, y por otra parte, respuestas de acción lenta. En el aislamiento por el pelaje, estas dos acciones se representan por la piloerección (respuesta rápida) y el crecimiento del pelo (respuesta lenta) mientras que en el aislamiento proporcionado por los tejidos se presenta vasoconstricción (respuesta rápida) y aumento de la grasa subcutánea (respuesta lenta). En la línea de la adaptación metabólica toda respuesta consiste en la elevación de la temperatura mediante el escalofrío en los tejidos superficiales (respuesta rápida) y un aumento estable a largo plazo gracias a una mayor producción de calor de los tejidos profundos (respuesta lenta).

En sentido general como respuesta ante el frío un número de especies mamíferas hiberna mientras que las aves esponjan las plumas, ponen la cabeza bajo el ala, se cubren los muslos y las patas y se mantienen en una especie de aletargamiento. Ante el frío los animales se agrupan, flexionan sus cuerpos reduciendo la superficie corporal, de ser necesario efectúan actividades motoras extras que generan calor al tiempo que, algunas especies construyen nidos y siempre buscan zonas de microclimas con temperaturas más elevadas.

En condiciones naturales la construcción o aprovechamiento de áreas naturales como abrigo o techo proporciona protección contra condiciones climáticas rigurosas, aislamiento-protección de los neonatos y protección de defensa contra animales rapaces o predadores. El equino es la especie animal doméstica más sensible al frío, seguido del bovino, las gallinas ponedoras y los pollos de engorde. En sentido general el porcino es la especie mejor adaptada para soportar el frío debido a su tendencia conductual al agrupamiento y estar dotados de una capa aislante de grasa corporal. Se plantea un efecto positivo de la hibernación sobre la vida media de los eritrocitos, en la marmota los glóbulos rojos que tienen una duración media de vida de 36 días en condiciones normales, cuando el animal hiberna prolongan su vida media hasta los 112 días.

### **-El medio ambiente de confort o bienestar.**

El medio ambiente de confort o sensación térmica agradable depende de la especie animal y traduce el ambiente en el cual los animales no están sometidos a exigencias termorreguladoras por lo que no se activan ni el temblor muscular como respuesta al frío ni la secreción de sudor como respuesta al calor. Para la evaluación del efecto del clima sobre los animales se debe tomar en consideración el llamado complejo THRV que comprende cuatro factores físicos ambientales: la temperatura del aire (T), la humedad relativa (H) que traduce la presión de vapor de agua en el aire, el nivel de radiación térmica (R) y la velocidad del viento (V).

Los cuatro factores climáticos son equivalentes y hasta cierto punto se relacionan con las exigencias termorreguladoras para obtener sensación de confort, por ejemplo, en el caso de que la temperatura ambiente sea fría, los animales pueden compensarla exponiéndose al sol para incrementar la recepción del calor de radiación que por el contrario pueden perder cuando se exponen al cielo claro de la noche fría.

Cuando el medio ambiente de confort o bienestar se desajusta, los animales sufren el estrés térmico que puede ser por calor o frío. En el estrés térmico por calor la respuesta decide un incremento de la pérdida con reducción de la producción de calor hasta una temperatura ambiental crítica máxima a partir de la cual no pueden termorregular desencadenándose una hipertermia que conduce a la muerte. El estrés térmico por calor reduce el índice de productividad y determina que los animales ajusten su conducta circadiana al refrescar durante la noche. La respuesta ante el estrés agudo por frío contempla el incremento de la producción de calor y la reducción de las pérdidas hasta que a partir de una temperatura ambiental crítica mínima, al ser imposible mantener la temperatura corporal, el animal cae en un estado de hipotermia que lo lleva a la muerte. El estrés agudo por frío también disminuye los índices de productividad.

El frío crónico estimula en los animales una adaptación estacional por lo que aumenta la producción de calor al incrementar la ingestión de alimentos y la intensidad metabólica al tiempo que se reducen las pérdidas de calor por aumento del aislamiento

térmico cutáneo. El efecto del calor y el frío crónico alternante produce adaptaciones de supervivencia que repercuten principalmente sobre el pelaje y el engrosamiento cutáneo.

La zona de termoneutralidad ambiental es aquella en donde los animales presentan un consumo mínimo de oxígeno virtualmente independiente de la temperatura por lo que no se observan mayores esfuerzos por los mecanismos termorreguladores para mantener la temperatura corporal. La zona de termoneutralidad esta limitada por un extremo inferior (temperatura crítica mínima) y en un extremo superior (temperatura crítica máxima). Por debajo de la temperatura crítica mínima (TC<sub>min</sub>) el consumo de oxígeno aumenta linealmente a medida que disminuye la temperatura ambiente presentándose un incremento en la tasa metabólica y en la respuesta más simple de la producción de calor mecánico-químico: el escalofrío. Por encima de la temperatura crítica máxima (TC<sub>max</sub>) el consumo de oxígeno aumenta rápidamente pero en esta ocasión no lo hace en forma lineal al tiempo que se va instaurando el sistema de disipación calórica mas significativo según la especie animal: el sudor o el jadeo.

A los efectos fisiológicos se entiende por aclimatación a los ajustes adaptativos a largo plazo de carácter morfo-funcional, que determinan como resultado un aumento de la tolerancia a la exposición continua o repetida a complejos estresantes climáticos que normalmente se producen en condiciones naturales.

La exposición de los animales a condiciones adversas térmicas ambientales determina respuestas que comprometen la salud animal en general y la temperatura corporal en particular. Entre las más frecuentes situaciones anormales de la regulación térmica se describen:

a) Insolación: Cuando la producción o retención de calor exceden la capacidad de perdida del mismo entonces la temperatura corporal se eleva a niveles peligrosos. En clima caliente de marcada humedad es muy difícil perder calor a los animales ya que el enfriamiento evaporativo no ocurre de manera efectiva por lo que a medida que la temperatura corporal se eleva, aumenta la tasa metabólica creándose un sistema de retroalimentación positivo que incrementa la producción de calor al tiempo que el jadeo y la sudoración, según la especie animal, da lugar a una deshidratación que produce un colapso circulatorio por lo que cada vez se hace mas difícil transferir calor hacia la piel. En los mamíferos una vez que la temperatura corporal excede los 41,5 a 42,5<sup>0</sup> C se dificultan seriamente las funciones corporales y pierden la conciencia. El golpe de calor es una situación de insolación muy común si no se toman las medidas adecuadas cuando se transportan animales en las horas mas agresivas del día.

b) Hipotermia: Se presenta cuando la perdida de calor excede a su producción de modo tal que la temperatura corporal comienza a disminuir hacia niveles peligrosos hasta alcanzar un punto donde el animal no puede emplear el mecanismo termorregulador que deja de cumplir su función homeotérmica. En esta situación los procesos metabólicos son cada vez más lentos al igual que la frecuencia cardiorrespiratoria, la presión sanguínea disminuye y el animal pierde el sentido. La

función termorreguladora hipotalámica se compromete seriamente a partir de los 29 a 25 °gC de temperatura corporal en descenso señalándose el paro cardiaco alrededor de los 20 °gC. Situaciones de comprometimiento de vida se observan en muchas especies de mamíferos placentales (múltiples crías por gestación) que nacen desnudas y con escaso desarrollo del centro termorregulador (conejos, ratas, etc.) y en las aves nidícolas cuando abandonan precozmente el nido por cualquier causa. La hipotermia también se manifiesta ante temperaturas ambientales frías siempre que los animales no puedan evitar la pérdida de calor.

c) Congelación: Es una situación drástica que se produce como continuación de la hipotermia ante temperaturas ambientales extremadamente frías. La respuesta vasoconstrictora en las extremidades para la retención del calor reduce la circulación sanguínea por lo que los tejidos se enfrían por debajo del punto de congelación del agua y se forman cristales de hielos que comprometen la integridad tisular dando lugar a una gangrena.

d) Fiebre: Es el incremento de la temperatura corporal producida por agentes pirógenos químicos, bacterianos o virales. Los pirógenos, sustancias que elevan el punto de ajuste del termostato hipotalámico, son los responsables de la fiebre durante múltiples enfermedades infecciosas y se corresponden con muchas proteínas o productos de su hidrólisis así como otras sustancias, especialmente lipopolisacáridos, que son secretadas por los microorganismos o liberadas por los tejidos corporales en degeneración. La fiebre es producto de un reajuste de los mecanismos termorreguladores para funcionar por encima del nivel normal incrementando la producción de calor y reduciendo sus pérdidas. Se reporta el efecto de las prostaglandinas en este ajuste. Generalmente el episodio febril se anuncia por los escalofríos. Durante la fiebre ocurren trastornos metabólicos acompañados de pérdida de NaCl y agua, cuadro de convulsiones, daño cerebral y muerte de producirse un incremento sostenido en la temperatura. Se reporta que la temperatura corporal compatible con la vida es hasta 5 °gC por encima del valor normal promedio de la especie animal.

#### **- Adaptación a las condiciones ambientales.**

En el proceso de adaptación a las condiciones térmicas ambientales, las diferentes especies animales presentan particularidades anatómicas relacionadas con la conformación de la superficie corporal en cuanto a su área y profundidad, la presencia de pelo, lana o pluma, la distribución y grosor del tejido adiposo subcutáneo así como la existencia y concentración de las glándulas sudoríparas. En principio, las especies que emplean la sudoración como forma primaria de disipar calor, toleran mejor los ambientes cálidos que las especies que jadean.

En los bovinos de zona templada y con poca adaptación a los climas cálidos, se observa una reducción en la cantidad de alimento ingerida cuando la temperatura ambiente sobrepasa los 25-27°C pero en el Cebú, adaptado morfológicamente a este tipo de clima, la depresión alimentaria se observa solo a partir de los 35°C. En

cualquier raza el descenso de la temperatura ambiental determina un aumento en el consumo de alimentos paralelo a la elevación de la termogénesis. En clima cálido, los animales autóctonos consumen mas alimentos y agua por unidad de masa corporal que los animales importados.

Se ha observado hasta un incremento de un 12% en la duración del tiempo de rumia durante el invierno cada vez que se apagaba la calefacción del local donde estaban los animales. Las variaciones climáticas estacionales provocan diferencias significativas en la actividad desplegada por los animales en pastoreo libre. El comportamiento de los rumiantes en condiciones de pastoreo es de naturaleza cíclica con mayor actividad ingestiva durante las primeras horas de la mañana y las últimas horas del atardecer así como alrededor de la medianoche constatándose un período de prácticamente ausencia de ingestión entre las 2 y 4 de la madrugada; en el resto del día la actividad conductual ingestiva es intermitente en dependencia de la temperatura ambiente entre otros factores. En clima caliente los animales se protegen en la sombra durante las horas del mediodía con una alta tendencia a la actividad de rumia en decúbito o echados; el empleo de la sombra natural en los potreros, árboles en sistemas silvopastoriles, no solo crea un mejor ambiente para los animales sino que mejora sustancialmente la producción y calidad de los pastos al reducirles el tiempo de incidencia directa de los rayos solares por lo que además se establece una especie de control natural térmico, aumentando la humedad del suelo y el reciclaje de los nutrientes. Todo aquello que conduzca a incrementar el tiempo de los animales en el pastizal evita el confinamiento en las naves de sombra por lo que se reducen las perdidas de nutrientes fuera del sistema, con disminución de los costos de producción y mejora de la salud animal.

El ganado Cebú comparado con el europeo, normalmente posee durante la época calurosa, un mayor índice de sudoración. Ahora bien, en temperaturas cálidas medias su nivel de sudoración es inferior debido a que tiene un menor índice de producción de calor metabólico por lo que no esta necesitado de sudar profusamente para mantener normal su temperatura corporal. El Cebú al compararlo con el Holstein presenta un mayor diámetro del pelo, del grosor de la piel con y sin pelo, del volumen y superficie secretora de las glándulas sudoríparas así como una menor longitud del pelo corporal. De lo antes expresado se infiere que la capacidad adaptativa del Cebú a las condiciones de clima caliente no se debe al incremento de la "superficie de disipación" que le brindan los pliegues colgantes del cuello, de la región umbilical y del prepucio así como de sus orejas largas y la giba ya que este incremento de área corporal realmente lejos de ayudar lo perjudica al tener una mayor superficie que aumenta la ganancia del calor ambiental por vía directa o indirecta. La acción positiva está entonces en que posee una piel altamente funcional en estas áreas de incremento de superficie al tener una concentración de glándulas sudoríparas mayor que en cualquier otra parte de la piel del cuerpo.

El abastecimiento insuficiente de agua produce en los rumiantes una reducción en los tiempos circadianos de ingestión de alimentos y de rumia, en el número de bolos mericicos o de rumia y en la cantidad de forraje ingerido. El consumo total de agua se

encuentra relacionado directamente con el consumo de materia seca, el contenido de materia seca del alimento y la producción de leche e inversamente relacionado con la lluvia y la humedad relativa. Tanto el consumo de agua como el tiempo empleado en ingerirla son mayores durante el verano que en el invierno. En clima caliente los animales deben disponer de agua a voluntad para satisfacer sus requerimientos y esta debe de estar protegida de los rayos solares para que se mantenga fresca a temperatura ambiente evitando su calentamiento.

Las variaciones de la temperatura ambiente influyen en el tiempo empleado por la cabra respecto al volumen y frecuencia de ingestión. Al descender la temperatura de 20 a 0<sup>o</sup> C se produce un incremento en el tiempo y velocidad de consumo alimentario con reducción en la ingestión de agua mientras que el aumento de la temperatura ambiental de 20 a 40<sup>o</sup>C al principio no tiene efecto depresor de la actividad ingestiva pero a medida que asciende la temperatura se reduce paulatinamente la acción ingestora de alimentos con incremento del volumen de agua ingerida hasta observarse el cese total de la actividad ingestiva. Las altas temperaturas ambientales (38<sup>o</sup>C o más) determinan una depresión directa en la actividad fermentativa ruminal que se refleja directamente en el consumo de alimentos.

En la oveja se describe un incremento en la temperatura rectal cuando la temperatura ambiente sobrepasa los 32<sup>o</sup>C. Al alcanzar la temperatura rectal los 41,0<sup>o</sup>C comienza el jadeo con la boca abierta aunque esta forma de disipar calor no es tan eficiente como en el perro. El estrés calórico como resultado de una elevada temperatura ambiental deprime el consumo de alimentos y la utilización de la energía en forma más pronunciada en ovejas alimentadas con dietas altas de forrajes. La temperatura ambiente efectiva altera significativamente el desarrollo y los indicadores nutricionales de los carneros en crecimiento incluyendo el consumo de alimentos.

Los lechones recién nacidos presentan una disminución de la temperatura corporal en los primeros 30 minutos de vida que puede oscilar entre 1.7 y 7.2<sup>o</sup> C en dependencia al tamaño del neonato y la temperatura ambiente. Como condiciones indispensables para la recuperación térmica están la ingestión de la leche materna, que es un alimento de alto poder calórico, y que en la cochiguera la temperatura ambiente sea favorable. De cumplirse ambos requisitos se logra alcanzar la normalidad térmica de unos dos días, ya que temperaturas ambientales frías pueden retrasar hasta 24 horas la recuperación de este indicador homeostático del medio interno lo que se convierte en un estresor de viabilidad de las crías. Es interesante señalar que el enfriamiento en el lechón ocasiona hemodilución, lo contrario a lo que ocurre en el animal adulto cuando funciona a plena capacidad el sistema termorregulador. Los lechones recién nacidos pueden perder gran cantidad de calor por conducción hacia el piso frío de cemento sobre el que descansan en condiciones de estabulación por lo que cualquier medida que se tome, por ejemplo, ponerles un piso de madera o hierba seca en un área del corral para que puedan reposar en caso de sentir frío y calentar artificialmente esta área con un foco incandescente en tiempo de temperaturas bajas, evitan esta pérdida al garantizarles condiciones de bienestar y protección.

En el cerdo adulto la temperatura rectal comienza a incrementarse cuando la temperatura ambiente sobrepasa los 30<sup>0</sup> C. La capacidad de respuesta de los animales ante el calor, esta muy influenciada por el valor de la humedad relativa ya que se ha demostrado una mala tolerancia a temperatura ambiente de 35<sup>0</sup> C cuando la humedad relativa sobrepasa el 65%. En contraste con el carnero y la cabra, que son capaces de mantener una temperatura cutánea relativamente estable a pesar de amplias variaciones del ambiente térmico, el cerdo es un animal muy influenciado por la temperatura ambiente al reportarse que cuando la temperatura del aire disminuye entre 12 y 15<sup>0</sup> C la temperatura cutánea puede reducirse en 14<sup>0</sup> C de ahí la importancia de protegerlos de cambios ambientales rápidos por su gran susceptibilidad.

En el perro, el incremento de la temperatura ambiental por encima de los 28<sup>0</sup> C aumenta la temperatura rectal; este efecto es menos significativo si la humedad relativa es baja. La respuesta termorreguladora en esta especie ante el calor es aumentar la frecuencia respiratoria, jadeo, por lo que se reduce la profundidad de la ventilación pulmonar lo que tiende a proteger la presión parcial de bióxido de carbono en la sangre. Una temperatura rectal de 40.6<sup>0</sup> C en el perro prácticamente se sitúa como el limite termorregulador al señalarse que temperaturas de 42.8<sup>0</sup> C o mas desencadenan graves daños nerviosos con peligro de un colapso inmediato y que de sobrepasar la temperatura corporal los 44<sup>0</sup> C la muerte es inminente. La forma primaria de disipación del calor en el perro es mediante el jadeo; se calcula que un perro con volumen normal respiratorio de dos litros por minuto, bajo el efecto del jadeo, puede aumentarlo hasta 70 litros lo que le permite liberar hasta 200 ml de agua en una hora con la consiguiente disipación de calor.

La elevación de la temperatura ambiental por encima de los 30<sup>0</sup> C en el gato, produce un incremento de su temperatura corporal. Con una humedad relativa sobre el 65%, el gato es incapaz de resistir una exposición prolongada a una temperatura ambiente de 40.5<sup>0</sup>C. La frecuencia respiratoria comienza a aumentar, como medida preventiva, antes que se eleve la temperatura rectal, pero con la característica, a diferencia del perro, de que se reduce por el volumen respiratorio de intercambio, es decir, en el gato el jadeo es mas profundo que en el perro. Esta particularidad de la especie, en donde el jadeo por su profundidad es menos significativo que en el perro como vía de disipar calor, se debe a que el gato como respuesta al calor mediante la estimulación simpática produce una saliva acuosa abundante que dispersa sobre su pelo y piel (acción de lameo cutáneo) en el clásico "baño de gato", por lo que dispone de otro mecanismo disipador de calor al lograr un efecto refrescante de superficie.

En los conejos, al nacimiento, los gazapos tienen su cuerpo completamente desnudo y su sistema termorregulador no funcional por lo que previo al parto, la madre conforma un nido redondeado, bien formado, el cual recibe en su centro la lana que la madre arranca de su pecho para el cobertura total de las crías en condiciones térmicas frías; la característica de este nido posibilita que las crías se mantengan bien unidas dándose calor entre sí. La madre mantiene el nido libre de materias extrañas y normalmente libre de olores desagradables. Los recién nacidos se muestran tranquilos mientras

estén bien alimentados y se sientan en un ambiente térmico adecuado ya que ante estímulos de frialdad responden con movimientos bruscos de su cuerpo y se introducen profundamente en la lana; en caso contrario, es decir, en condiciones de calor se disgregan y se desprenden de la lana que los recubre. A medida que se desarrollan los gazapos y según la temperatura ambiente, la madre va retirando paulatinamente el material protector térmico del nido hasta que finalmente este queda libre de lana y paja. En estado de cautiverio y según la temperatura ambiente, el hombre debe retirar el nido que poco a poco se va contaminando con la orina y las heces de los gazapos ya más desarrollados. Se debe retirar más temprano en verano que en invierno.

En la gallina se observan alteraciones de la temperatura corporal y de la respiración cuando la temperatura ambiente sobrepasa los 27<sup>0</sup> C. La piel de las aves no posee glándulas sudoríparas. Las plumas que cubren el cuerpo ejercen una función aislante para el intercambio de calor con el medio ambiente por lo que protegen el calor corporal al tiempo que refractan el calor ambiental (dentro de un límite de incidencia). Si las aves sudaran tendrían que evaporar el agua por su piel y durante el vuelo, el aire húmedo situado entre las plumas, debería de ser renovado rápidamente, por lo que entonces la corriente del aire por la superficie de las plumas no podría ser laminar sino sería turbulenta lo que causaría una considerable acción de retardo en el vuelo al tiempo que lo haría más fatigoso e incrementaría la pérdida de calor por lo que el vuelo, en este caso, produciría un efecto hipotérmico.

En la respuesta ante el calor las aves aceleran la frecuencia respiratoria manteniendo el pico abierto por lo que incrementan la evaporación de agua y con ello la disipación de calor. Desde el punto de vista comportamental buscan áreas sombreadas, se mantienen inmóviles con las alas extendidas y de estar en tierra suelta y húmeda con frecuencia se revuelcan para aumentar la disipación de calor por conducción y convección al renovar el contacto con superficies menos calientes. En ambientes calientes las aves aumentan la ingestión de agua al tiempo que su escurrimiento a partir del pico moja la zona de la pechuga contribuyendo al enfriamiento por evaporación, de ahí que en condiciones tropicales los animales deban disponer de agua a voluntad. En situaciones ambientales frías, las aves suelen situarse en áreas soleadas al tiempo que ahuecan o erizan las plumas para incrementar el atrapamiento del aire y crear una cobija aislante.