

TERMO-REGULACION Y PERDIDA INSENSIBLE DE AGUA EN EL PREMATURO DE MUY BAJO PESO DE NACIMIENTO EN LA PRIMERA SEMANA DE VIDA

Dr. Juan Carlos Buscaglia

Médico Neonatólogo.

Jefe Unidad Neonatología. HMIR Sardá

1. Introducción

Sabemos que los prematuros tienen mala regulación térmica y que, si son expuestos al aire ambiente igual que los recién nacidos de término (RNT) padecerán hipotermia. En los recién nacidos (RN) de muy bajo peso de nacimiento (MBPN), es decir 1.500 gramos ó menos, las consecuencias de la hipotermia van a ser catastróficas, tanto que fue el uso de la incubadora lo que produjo el gran cambio en la atención de los prematuros, haciendo posible la sobrevivencia de los mismos. En la termo-regulación intervienen dos mecanismos: por un lado la *producción endógena de calor* que, aunque en nuestro prematuro tiene deficiencias, es bastante efectiva; y por el otro la *pérdida de calor*, que consideramos que es el mecanismo más importante.

Por otro lado y aunque es un concepto más reciente, también se sabe que estos bebés pierden por piel enormes cantidades de agua en los primeros días, lo que se denomina *pérdida insensible de agua* (PIA). Para poder entender estos dos conceptos, es decir pérdida de calor y PIA, deberemos hablar de algunas características de la piel y también daremos conceptos generales de Física que nos permitirán entenderlos mejor.

Finalmente trataremos de describir el *modo de ejercer la termorregulación en el RN de los aparatos* que se dispone actualmente y pequeñas variantes de bajo costo que rinden grandes beneficios.

2. Producción de calor en el prematuro

¿Tiene buena producción endógena de calor el prematuro? La respuesta es afirmativa, con el único requisito de estar normotérmico, normoperfundido, normoxémico y normoglucémico. El consumo de O_2 varía en entre 4 y 8ml/kg/minuto en RNT y prematuros⁽¹⁾⁽²⁾. Con este consumo de O_2 se puede calcular la producción calórica aplicando la fórmula de Sinclair: cada litro de O_2 consumido produce 4.83 kcal⁽³⁾. Con un consumo de O_2 de 4 a 8ml/kg/minuto tendríamos

una producción de calor de 1.15 a 2.31 kcal/kg/hora, lo que equivaldría a 27 a 54 kcal/kg/día para los RNT o prematuros, aún aquellos con peso de nacimiento de 1.500 gramos o menor. Esta producción de calor sería suficiente para mantenerlos normotérmicos, ya que para elevar 1°C la temperatura corporal son necesarias 0.84 kcal/kg⁽⁴⁾. Pero, dadas las características de la piel y la enorme superficie corporal del prematuro de MBPN, que hacen que tenga grandes pérdidas de calor y de agua, el calor producido no le alcanza si no se hace algo para evitar dichas pérdidas. Además, dado que tiene enormes pérdidas, la producción de calor es siempre máxima, de tal modo que si es sometido a injuria por frío y en consecuencia hipotermia, no podrá responder con un aumento en su producción de calor⁽⁵⁾.

3. Algunas características de la piel de los prematuros

La epidermis embrionaria y fetal hasta las 22 semanas de edad gestacional no tiene capa córnea y se comporta como una membrana permeable, la que permite que se produzca la difusión entre el líquido extracelular del bebé y el líquido amniótico⁽⁶⁾. La queratinización de la epidermis, como ya dijimos, comienza alrededor de las 22 a 24 semanas. El estrato córneo crece gradualmente en espesor y al cumplirse la semana 34 está completamente desarrollado. Después del nacimiento y en las primeras 2 a 3 semanas se forma estrato córneo a ritmo muy acelerado. Al final de este período la epidermis es igual a la de un RNT o un adulto, cualquiera sea la edad gestacional del prematuro al nacimiento.

El estrato córneo no es completamente impermeable al agua y permite una continua difusión pasiva de agua denominada PIA. Esta debe ser distinguida del sudor, el cual es un proceso activo relacionado con la termorregulación o con lo emocional. Fue Fanaroff el que demostró que el prematuro tiene más alta PIA y que la consecuencia de este proceso es la deshidratación hipernatrémica⁽⁷⁾.

4. Conceptos generales de Física

4.1 Evaporación:

El agua es un líquido y por lo tanto se ve. Por acción del calor se transforma en vapor que es un gas invisible. En la piel hay evaporación constante y se llama *perspiración insensible ó PIA*⁽²⁶⁾.

4.2 Convección:

Se llama así al intercambio de calor (energía) y de agua (masa) entre una superficie (en nuestro caso la piel) y el aire que la rodea. Al intercambio de calor se lo denomina *pérdida de calor* y al intercambio de agua PIA. Es importante destacar que, cuando consideramos la convección, tanto la pérdida de calor como la PIA se comportan de la misma manera. O sea que cuando se evalúa la pérdida de calor también se está evaluando la PIA y viceversa⁽⁸⁾⁽⁹⁾.

4.3 Convección natural:

Velocidad del aire normal, impulsado por movimientos naturales de personas o cosas⁽¹⁰⁾.

4.4 Convección forzada:

Velocidad del aire aumentada, impulsado por ventilador, turbina, compresor, etc. aún a mínima velocidad⁽¹¹⁾.

4.5 Capa límite:

Es la capa de aire más cercana a la piel en donde se produce el intercambio de calor y de agua. Su espesor o volumen está en relación inversa a la velocidad del aire⁽¹²⁾⁽¹³⁾. Este es un concepto que queremos resaltar porque en él nos hemos basado para justificar y promulgar el uso de la *sabanita de plástico* y para «crear» el *port-enfant*⁽¹⁴⁾. Nos llama la atención que, a pesar de datar de 1904 (Prandtl) no se haya tenido en cuenta la capa límite para el diseño y uso de las incubadoras y servocunas radiantes. Inclusive John Sinclair, a pesar de mencionarla en su artículo de 1982⁽¹²⁾ posteriormente no lo hace en su capítulo del libro de Okken y Koch⁽⁵⁾. No tener en cuenta la capa límite obliga al uso de sofisticados sistemas para lograr aquietar y humectar el aire contenido en todo el habitáculo de la incubadora y conseguir de este modo disminuir la PIA y la pérdida de calor. Al tomar la capa límite como un fenómeno físico real se deduce que los mismos resultados pueden lograrse con una *sabanita de plástico* que cubra al bebé.

4.6 Radiación:

Todo cuerpo en el espacio irradia espontáneamente energía a su alrededor, con más intensidad cuanto mayor es su temperatura (T°) e independientemente del medio externo. Esta radiación se equilibra en parte con la que el cuerpo a su vez recibe del exterior⁽⁹⁾.

4.7 Humedad relativa del aire:

Indica la cantidad de vapor de agua que está disuelta en el aire. Con humedad relativa 100% el aire está saturado de vapor de agua. A mayor T° el aire aumenta el coeficiente de solubilidad del vapor de agua; asimismo a mayor T° el aire se dilatará y tendrá mayor volumen pero con la misma cantidad de vapor de agua; por eso a medida que aumenta la T° del aire disminuye su humedad relativa. La inversa también ocurre, es decir, cuando el aire caliente es enfriado bruscamente, disminuye su volumen y solubilidad, apareciendo el agua en forma de gotas, a lo que llamamos equivocadamente «vapor»⁽²⁶⁾.

5. La termorregulación y los aparatos utilizados

5.1 Incubadora:

Produce la termorregulación mediante la convección forzada con aire calentado a 30-35°C (*Figura 1*). La radiación es mínima en las de doble pared (*Figura 2*).

5.2 Servocuna radiante:

Actúan simultáneamente la radiación y la convección natural con aire ambiente a 26°C (*Figura 3*).

6. La PIA y su estrecha relación con la termo-regulación

6.1 T° de la piel:

A mayor T° hay mayor PIA. La Servocuna radiante calienta la piel.

6.2 Velocidad del aire:

A mayor velocidad hay mayor PIA. La incubadora produce convección forzada, con velocidad del aire aumentada.

6.3 Humedad relativa del aire de la capa límite:

A menor humedad relativa hay mayor PIA. La incubadora aumenta la T° del aire, lo que disminuye la humedad relativa.

7. Valoración de la PIA

7.1 Pesada continua:

(± Peso + Ingresos - Orina = PIA). Se utiliza una balanza especial encima de la cual el bebé permanece (balanza Potter). Si bien parecería a simple vista un método muy exacto, en la práctica se ha demostrado que su uso es casi imposible y que es inexacto⁽¹²⁾.

7.2 Pesada intermitente:

Es el método que se usa habitualmente.

Figura 1: Representación esquemática de un RN en incubadora de una pared.

Referencias:

- Conducción
- Convección
- |||||||° Radiación
- - - - - Capa límite
- (∅) Corriente de aire

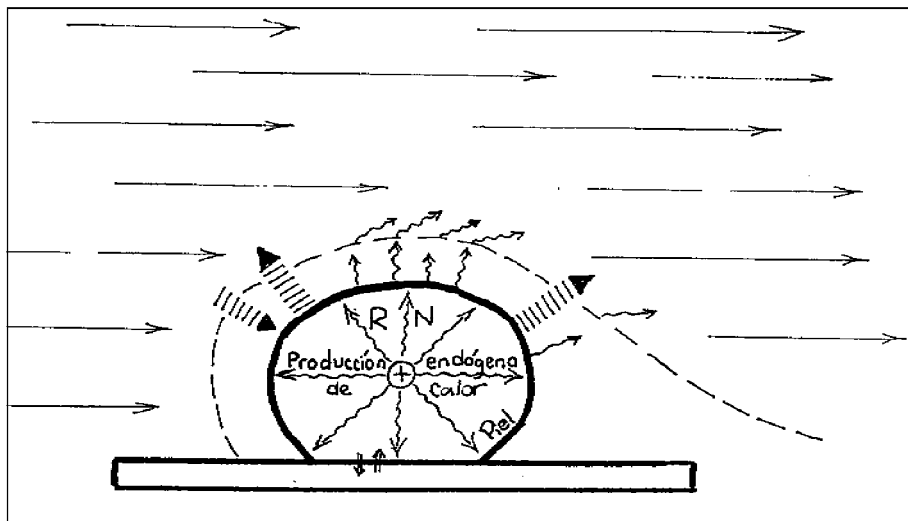


Figura 2: RN en incubadora de doble pared.

Referencias:

- Convección
- |||||||° Radiación
- - - - - Capa límite
- (∅) Corriente de aire

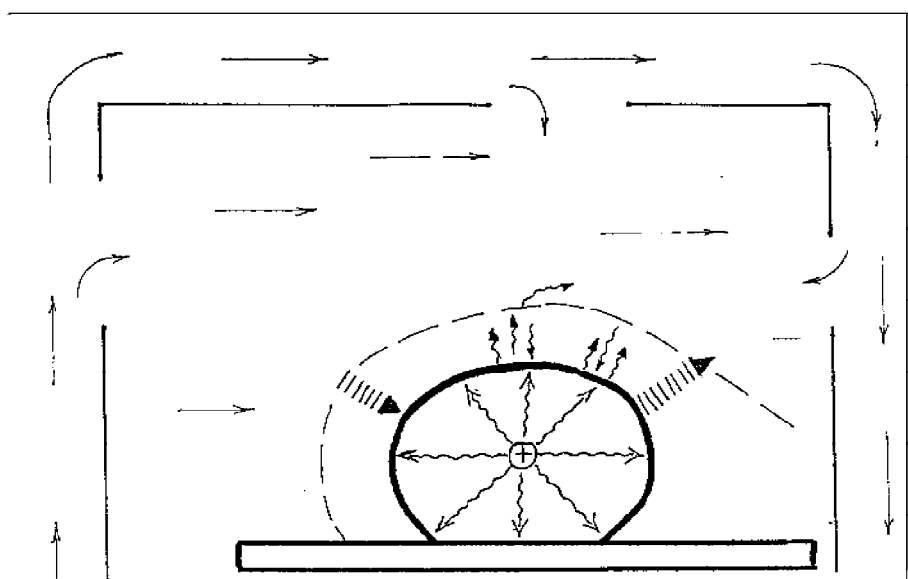
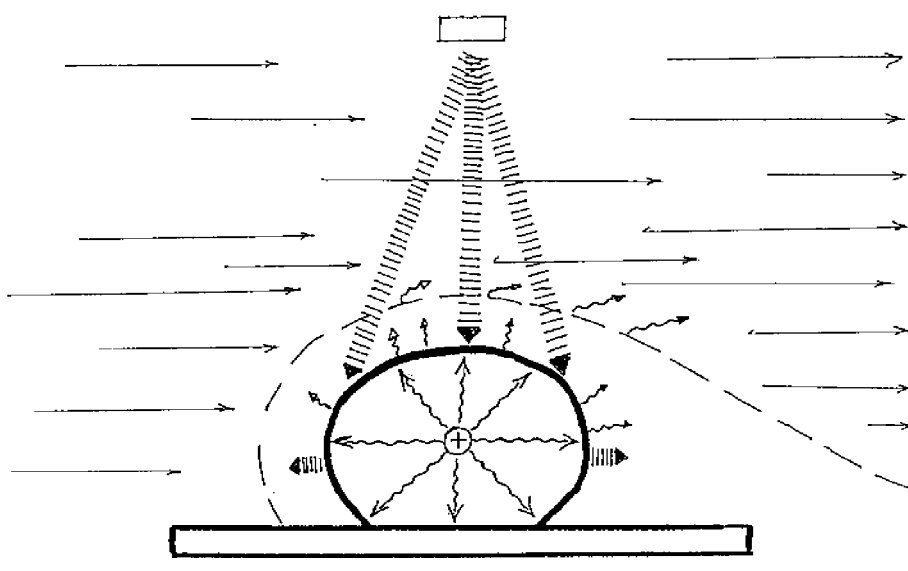


Figura 3: RN en servocuna radiante

Referencias:

- Convección
- |||||||° Radiación
- - - - - Capa límite
- (∅) Corriente de aire



7.3 Evaporímetro E1:

Este aparato, de origen sueco, se utiliza desde hace mucho tiempo para trabajos de investigación. ⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾

7.4 Capacitancia eléctrica de superficie:

Se mide en la piel. Los valores son similares a los obtenidos con Evaporímetro E1 y la técnica es mucho más sencilla ⁽¹⁷⁾

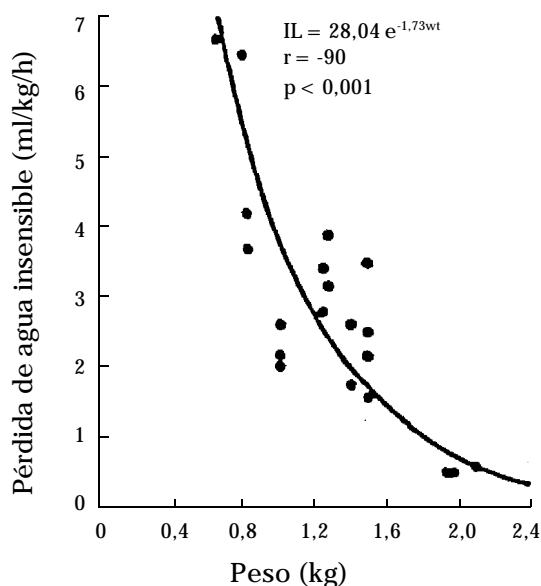
7.5 Repercusión en medio interno (sin pesar):

Este método fue primeramente sugerido por Baumgart y col. que lo utilizaron para un excelente trabajo de investigación. El monitoreo hidroelectrolítico del bebé se hace controlando natremia, diuresis, densidad urinaria, hematocrito, tensión arterial ⁽¹⁸⁾.

8. Valores de PIA

Los valores normales de PIA varían según el peso de nacimiento, la edad gestacional, la edad postnatal, forma de valoración, atención en incubadora o servocuna radiante, doble o simple pared, luminoterapia o no. Baumgart y col., en el primer día de vida, con balanza Potter, RN desnudos en servocuna radiante, con pesos entre 660 y 1.000 g encontraron 5.20 ml/kg/hora. Fanaroff en la primera semana de vida, con el método de pesada intermitente, RN desnudos en incubadora, con pesos entre 600 y 1.200 g encontró 3.50ml/kg/hora. ⁽¹⁹⁾

Figura 4: La PIA se incrementa exponencialmente con la disminución del peso de nacimiento, en prematuros atendidos en servocuna radiante.



9. Variables de la PIA que dependen del RN (son inevitables)

9.1 Peso y EG:

En la curva de la *Figura 4* vemos que a menor peso y a menor edad gestacional la PIA aumenta en forma exponencial ⁽²⁰⁾

9.2 Días de vida:

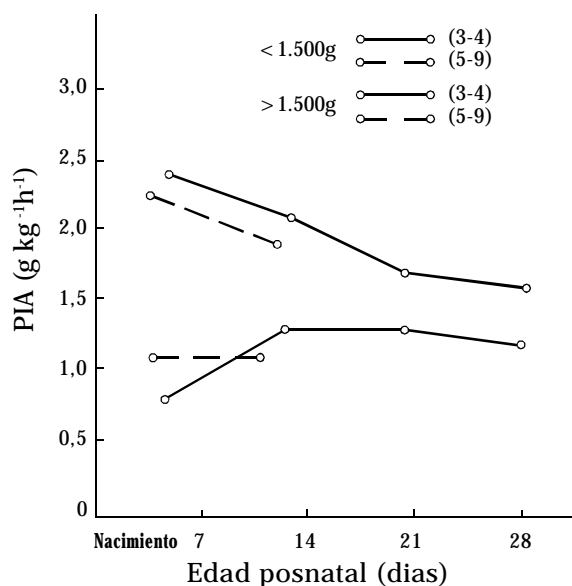
En la *Figura 5* ⁽¹²⁾ se ve que a medida que pasan los días, en los MBPN hay menor PIA. Se calcula que a los 14 días de vida la PIA es igual a la del RNT, porque ya ha cornificado su piel por más inmaduro que sea. ⁽¹²⁾

10. Variables de la PIA que pueden modificarse

10.1 Servocuna radiante:

Cuando el RN es atendido en servocuna radiante hay conductas o técnicas que pueden ser modificadas haciendo que tenga menor PIA. En la *fig 6* ⁽²¹⁾ se midió la evaporación que se produce en un cuerpo inerte (pañal descartable) cuando se lo coloca en distintas situaciones alternativas. El uso simultáneo de una carcasa de acrílico y sabanita de plástico redujo la evaporación al mínimo posible. Baumgart y col ⁽²²⁾⁽²³⁾ demostraron que el uso de la sabanita de plástico es útil para disminuir la evaporación, como asimismo que la sabanita actúa porque disminuye la convección (*Figura 7*).

Figura 5: Cambios en la PIA con la edad posnatal en prematuros.



10.2 Incubadora

10.2.1 De una pared:

En este tipo de incubadora el aire circula por convección forzada, lo que provoca una gran evaporación. Esta puede disminuirse si se aquieta el aire, no necesariamente en todo el habitáculo, sino solamente en la capa límite.⁽²¹⁾ Como vemos en la situación alternativa N° 7 de la *Figura 6*, una sabanita de plástico logra este objetivo, lo que hemos graficado en la *Figura 8*.

10.2.2 De doble pared:

Yeh y col⁽²⁴⁾ demostraron que hay diferencia significativa en la T° operativa y en la PIA con la incubadora de doble pared. Pero solamente en aquellas en que el aire de la convección forzada entra y circula entre las dos paredes (*Figura 2*).

10.3 Luminoterapia:

La luminoterapia aumenta la PIA por el calentamiento de la piel del bebé que produce la radiación que emite⁽¹⁶⁾. Puede verse en la *Figura 9*⁽¹⁶⁾ que no hubo variantes en la evaporación (PIA) a pesar de la luminoterapia cuando se mantuvo constante la T° de la piel y rectal de los bebés mediante convección con aire más frío. Por lo tanto, podemos decir que la luminoterapia actúa igual que la servocuna radiante (*Figura 3*).

10.4 Humedad en el ambiente

10.4.1 Ambiente con máxima humedad:

Actualmente existen incubadoras que logran altas concentraciones de humedad sin tener que recurrir a un humectador externo y sin aumentar la velocidad del aire porque son de doble pared.

10.4.2 Sabanita de plástico:

La humedad máxima que se logra con las incubadoras anteriormente mencionadas, en realidad sólo es necesario tenerla en la capa límite y no en todo el habitáculo. Ya hemos citado trabajos⁽²¹⁾⁽²³⁾ que nos demuestran que si colocamos una sabanita de plástico que cubra completamente al bebé vamos a lograr aquietar el aire de la capa límite tanto como para que llegue a saturarse de humedad y entonces el bebé deje de evaporar agua en su piel (*Figura 8*). Es condición indispensable que el RN esté totalmente cubierto por la sabanita de plástico. Esto parece haber sido demostrado por Waterspiel JN y col⁽²⁵⁾ en un excelente trabajo cuyos resultados se ven en la *Figura 10*: la pérdida de calor (y por lo tanto de agua) por convección disminuye al máximo cuando el bebé está completamente cubierto, inclusive la cabeza, y a la sabanita se le hace un pequeño corte para pasar a través de él las tubuladuras de suero y circuito de la ARM⁽²⁵⁾.

10.4.3 Nido + Sabanita de plástico:

Con lámina de plástico soldada y rellena con algodón o enrollando una sábana o toalla hagamos una manga de aproximadamente 5 cm de espesor y 80 cm de largo. Si luego unimos los extremos de la

Figura 6: Promedio y desvío standard del porcentaje de evaporación de cada situación alternativa. 1: SR (servocuna radiante) sin cubrir; 2: SR cubierto con carcasa de acrílico; 3: SR cubierto con sabanita de plástico; 4: SR cubierto con ambas cosas; 5: Incubadora sin cubrir; 6: Incubadora cubierto con carcasa de acrílico; 7: Incubadora cubierto con sabanita de plástico.

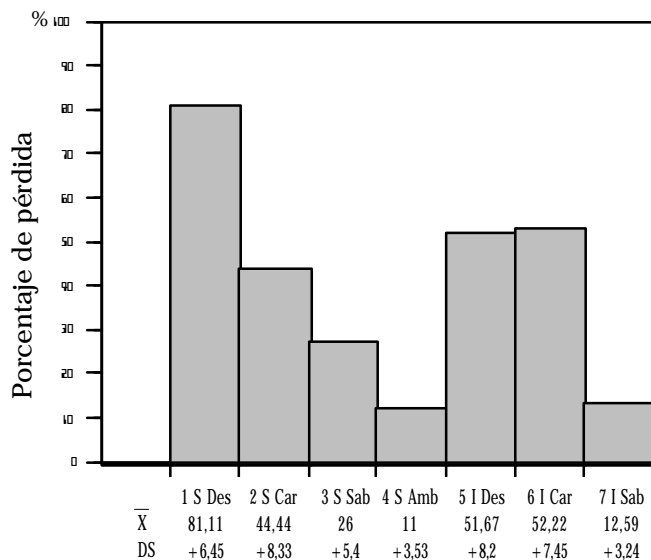
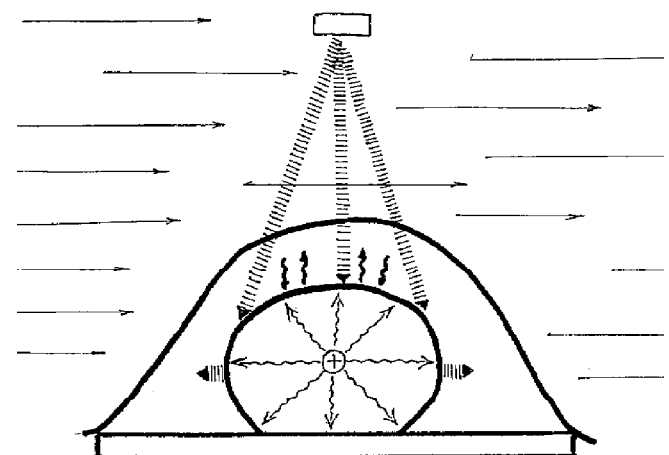


Figura 7: RN en servocuna radiante cubierto con sabanita de plástico



Referencias:

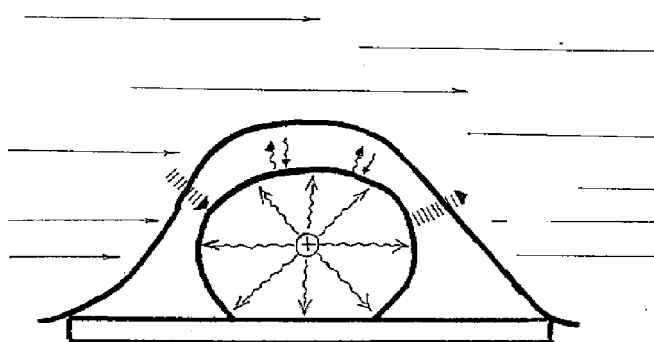
- Convección
- ||||||| Radiación
- (∅) Corriente de aire

manga y apoyamos la misma en el colchón de la incubadora o de la servocuna radiante quedará formado un «nido». Si colocamos al RN dentro de ese nido y lo cubrimos totalmente con una sabanita de plástico, va a quedar formada entre el cuerpo del bebé y el nido una cámara de aire que no es otra cosa que la capa límite, como se ve en la *Figura 11*. Esta cámara de aire tendría aproximadamente 1 litro de volumen. Como vemos en la *Figura 12*, para saturar 1 litro de aire solo hacen falta 50 mg de agua. Por lo tanto, cada vez que se levante la sabanita se desaturará de humedad el aire de la capa límite, pero al RN solo le costará la pérdida insensible de 50 mg de agua para volverlo a saturar y dejar de perder.

11. Port-enfant

Finalmente insistimos en llamar la atención sobre un humilde sistema de transporte de prematuros que ya hemos presentado ⁽¹⁴⁾. Como vemos en la *Figura 13* se evita la pérdida de calor por radiación y convección. Asimismo se utiliza la producción endógena de calor del bebé como única fuente. Pero, *para ello es necesario que el bebé esté normoxémico, normoperfundido y normoglucémico*. Y además es necesario que el bebé no se haya enfriado previamente, ya que como dijimos antes, basados en Okken y col. ⁽⁵⁾, el prematuro tiene enormes pérdidas que lo obligan a tener siempre su producción de calor al máximo y, en consecuencia, no pudiendo responder con un aumento de producción ante una injuria por frío. Todos estos requisitos, que

Figura 8: RN en incubadora radiante con sabanita de plástico



Referencias:

- Convección
- |||||* Radiación
- (∅) Corriente de aire

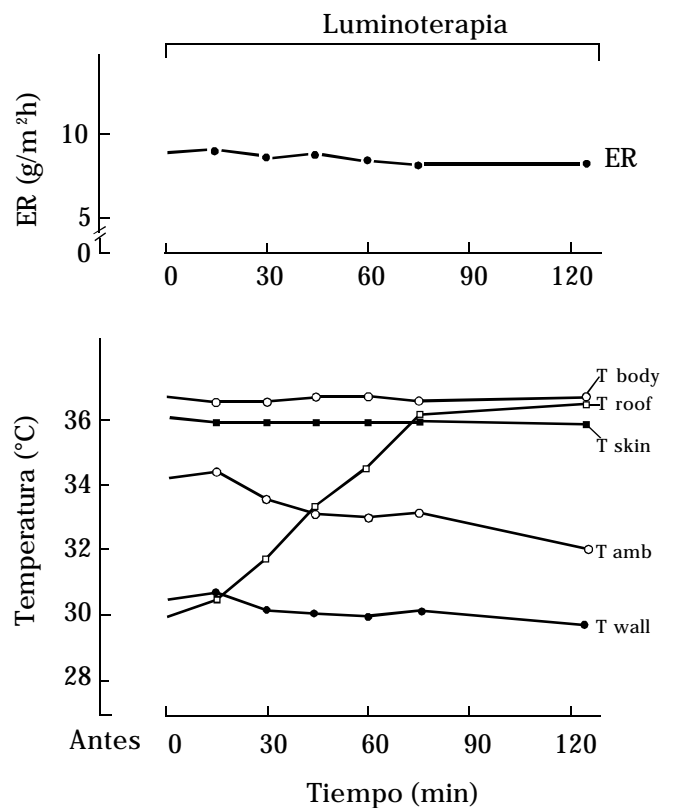
parecerían limitar mucho el uso del port-enfant, son también *requisitos fundamentales a cumplir para efectuar un transporte correcto en incubadora*.

12. Comentario final

El hecho de la creación de la *incubadora* que hemos mencionado en la Introducción ocurrió en la primera mitad de este siglo, y desde entonces mucho se ha avanzado en el campo de la termorregulación, pareciera que últimamente se ha desviado la atención de los neonatólogos hacia otros tópicos (asistencia respiratoria en todas sus formas, nutrición parenteral, diagnóstico por imágenes, biología molecular, informática, etc).

En realidad esta actualización pretende reenfanzar la importancia de la *termorregulación* como pilar de la asistencia del prematuro de MBPN. Asimismo pretende ser una pequeña contribución a ese universo fascinante que son las Tecnologías Apropriadas, nombre un

Figura 9: Evaporación (ER), temperatura de piel (*T_{skin}*), temperatura rectal (*T_{body}*), temperatura del aire de la incubadora (*T_{amb}*) y temperatura del techo del habitáculo (*T_{roof}*) en un prematuro representativo antes y durante 120 minutos de luminoterapia



tanto pretencioso dado al producto del esfuerzo mancomunado de todos aquellos que, con bajos recursos,

tienen que atender en forma digna y eficiente a un alto número de nacimientos prematuros.

Figura 10: Porcentaje de disminución en el consumo eléctrico cuando los RN fueron atendidos bajo las diferentes coberturas indicadas.⁽²⁵⁾

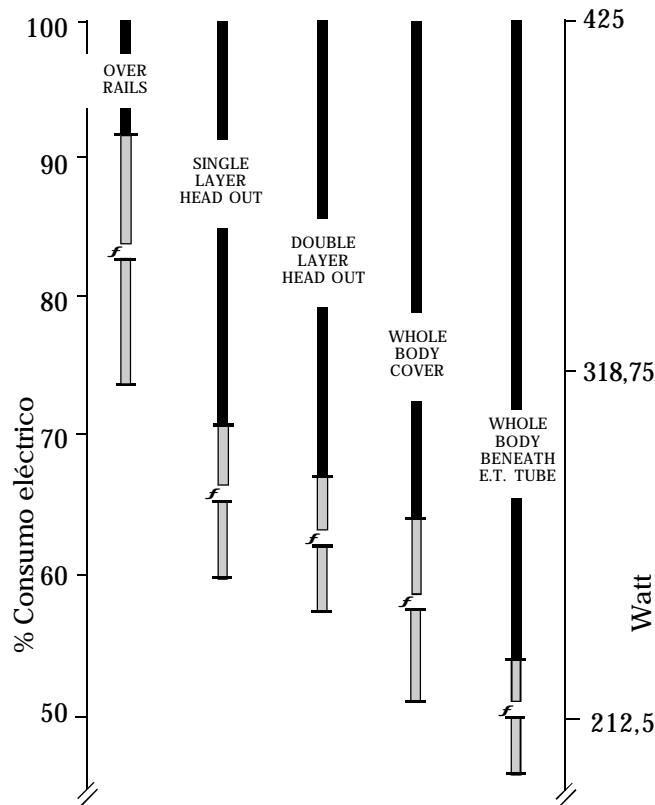
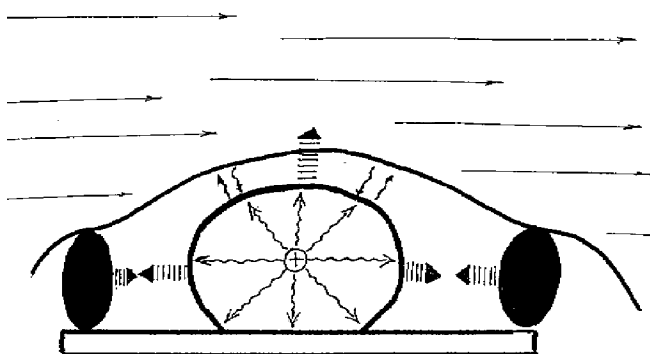


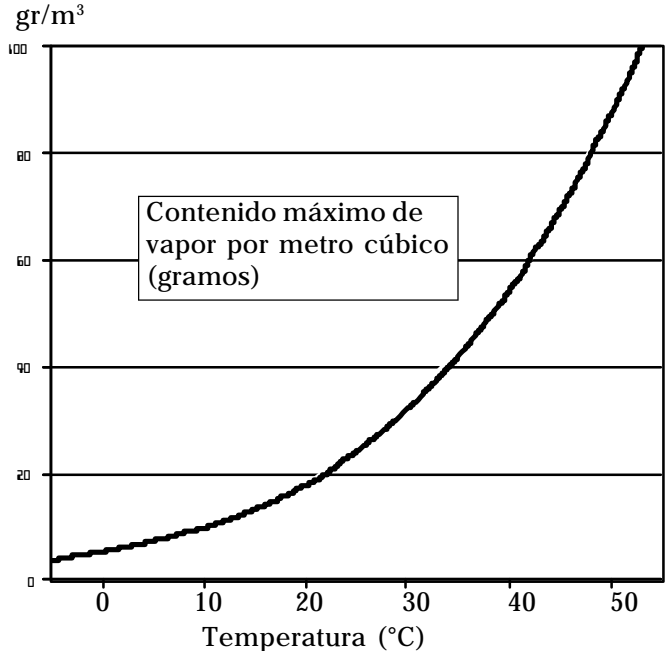
Figura 11: RN en incubadora en un nido y cubierto con sabanita de plástico.



Referencias:

- Convección
- Radiación
- Corriente de aire

Figura 12: Contenido máximo de vapor del aire a las distintas temperaturas del mismo, expresado en gramos por metro cúbico o miligramos por centímetro cúbico.



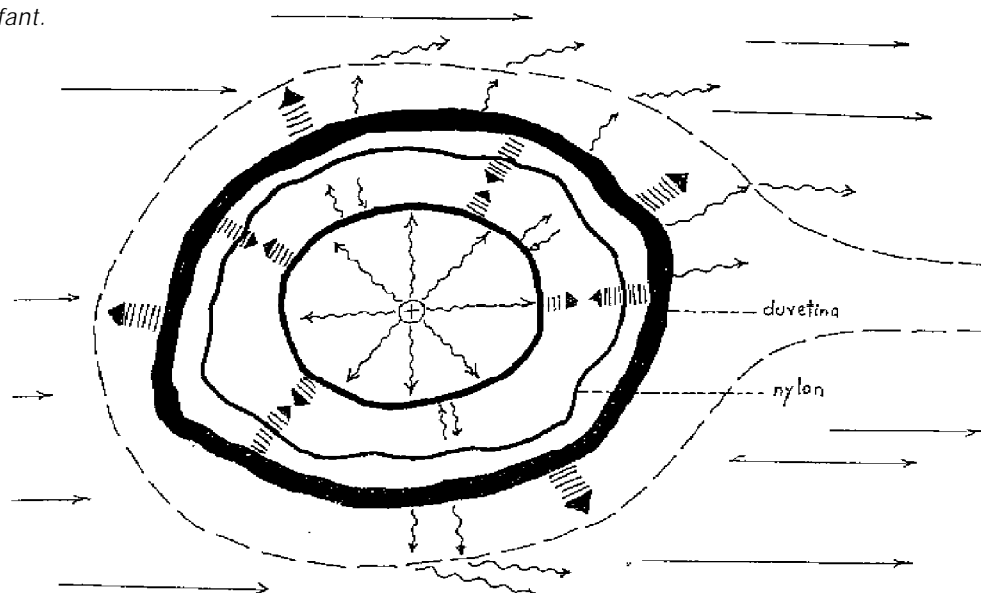
Bibliografía

- Marks KH, Lee ChA, Bolan ChD, and Maisels MJ. Oxygen consumption and temperature control of premature infants in a double-wall incubator. Pediatrics 1981; 68: 93.
- Baumgart S. Partitioning of heat losses and gains in premature newborn infants under radiant warmers. Pediatrics 1985; 75: 89.
- Yeh TF, Voora S, Lilien LD, Matwynshyn J, Srinivasan G, and Pildes RS. Oxygen consumption and insensible water loss in premature infants in single-versus double-walled incubators. J Pediatr 1980; 97: 967.
- Bell EF, Gray JC, Weinstein MR and Oh W. The effects of thermal environment on heat balance and insensible water loss in low-birth-weight infants. J Pediatr 1980; 96: 452.
- Okken A and Koch J. Thermoregulation of Sick and Low Birth Weight Neonates. Springer. Berlín 1995.
- Esterly NB. The Skin. Section XI. Textbook: Fetal and Neonatal Physiology. Polin R and Fox W. W.B.Saunders Company. 1992.

Figura 13: RN en porta-enfant.

Referencias:

- Conducción
- Convección
- ||||||^o Radiación
- Capa limite
- (∅) Corriente de aire



7. Fanaroff AA, Wald M, Gruber HS and Klaus MH. Insensible water loss in low birth weight infants. *Pediatrics* 1972; 50: 236.
8. Rohsenow R Choi II. Heat, mass and momentum transfer. Prentice Hall. New Jersey 1961.
9. Grünfeld V. El caballo esférico. Temas de Física en Biología y Medicina. Ed. Lugar Científico. 1991.
10. Cameron & Skofronik. Medical Physics. J. Wiley & Sons. 1978.
11. Clark RP, Cross KW, Goff MR, Mullan BJ, Stothers JK and Warner RM. Neonatal natural and forced convection. *J Physiol* 1978; 274: 228.
12. Doyle LW, and Sinclair JC. Insensible water loss in newborn infants. *Clinics in Perinatology* 1982; 9: 453.
13. Buscaglia JC y Buscaglia GC. Termo-regulación y perspiración insensible en el prematuro de muy bajo peso. Mecanismos implicados y recomendaciones para su correcto control. *Arch Arg Pediatr* 1991; 89: 31.
14. Buscaglia JC. Simplificación del transporte de prematuros y/o RN patológicos. *Rev. Hosp. Mat Inf Ramón Sardá* 1993; 12: 35.
15. Hammarlund K, Nilsson GE, Öberg PA, Sedin G. Transepidermal water loss in newborn infants I. *Acta Paediatr Scand* 1977; 66: 553.
16. Kjartansson S, Hammarlund K and Sedin G. Insensible water loss from the skin during phototherapy in term and preterm infants. *Acta Paediatr* 1992; 81: 764.
17. Okah FA. Surface electrical capacitance as a noninvasive bedside measure of epidermal barrier maturation in the newborn infant. *Pediatrics* 1995; 96: 688.
18. Costarino A, Gruskay J, Corcoran L, Polin R and Baumgart S. Sodium restriction versus daily maintenance replacement in VLBW premature neonates: A randomized blind therapeutic trial. *J Pediatr* 1992; 120: 99.
19. Costarino A and Baumgart S. Modern fluid and electrolyte management of the critically ill premature infant. *Clinics in Perinatology* 1986; 33: 153.
20. Baumgart S, Langman C, Sosulski R et al. Fluid, electrolyte and glucose maintenance in the VLBW infant. *Clin Pediatr* 1982; 21: 199.
21. Buscaglia JC. Estudio cuantitativo de la evaporación en servocunas radiantes e incubadoras. *Arch Arg Pediatr* 1991; 89: 3.
22. Baumgart S, Engle W, Fox WW, and Polin R. Effect of heat shielding on convective and evaporative heat losses and on radiant heat transfer in the premature infant. *J Pediatr* 1981; 99: 948.
23. Baumgart S, Fox WW and Polin RA. Physiologic implications of two different heat shields for infants under radiant warmers. *J Pediatr* 1982; 100: 787.
24. Yeh TF, Voora S, Lilien LD, Matwynshyn J, Srinivasan G, and Pildes RS. Oxygen consumption and insensible water loss in premature infants in single- versus double-walled incubators. *J Pediatr* 1980; 97:967.
25. Waterlspiel JN. Design and performance of blanket heat shields for neonates. *Acta Paediatr Scand* 1991; 80: 993.
26. Buscaglia GC. Temas de transferencia de calor y de humedad aplicables al cuerpo humano. Comunicación personal.