

ADAPTACION BIOLOGICA A LA ALTURA*

Patricia Soto Riesle¹ y Francisco Rothhammer²

El hombre ha desarrollado en su adaptación al medioambiente en que vive, una variada gama de respuestas a los estímulos que encuentra a fin de llegar al equilibrio normal. La adaptación, según Katz (1970), es el proceso por medio del cual la población se ajusta para cambiar en su medioambiente; aun cuando existe una habilidad genética diferencial para diversos organismos para interactuar exitosamente con sus ambientes, el proceso de selección natural entra en acción, agregando a esto los otros mecanismos de cambio genético en las poblaciones y más generalizado en las especies, involucrando un proceso evolutivo.

Las regiones de gran altitud presentan características peculiares del ecosistema que

*Este trabajo corresponde a una revisión de algunos de los factores de adaptación biológica a la vida en altura, efectuado durante la permanencia de Patricia Soto en el Departamento de Biología Celular y Genética, Sede Santiago Norte, Universidad de Chile.

¹Depto. de Antropología, Universidad del Norte, Arica.

²Dpto. de Biología Celular y Genética, Sede Norte, Universidad de Chile, Santiago.

condicionan mecanismos de adaptación en las poblaciones humanas que allí habitan de carácter morfológico, fisiológico, genético y culturales.

Cálculos estimativos respecto a la población en habitats de gran altitud o montañoso señalan entre 20 y 25 millones de individuos residentes sobre los 3.000 m. (De Jong, 1968), y en general Weiner (1964) señala que de la proporción del total de población mundial, el 12% corresponde a habitantes de zonas montañosas. Asumiendo que la población mundial es de 3.500 millones (Clark, 1969) da un total de 420 millones de residentes en montaña. Estos cálculos nos muestran que una gran población vive en un ambiente ecológico que les exige en mayor o menor medida, una serie de características biológicas que los diferencian de las poblaciones que habitan a nivel del mar.

Las tres mayores regiones de gran altitud habitadas en el mundo son:

1. Himalaya, en Asia, donde se encuentran las poblaciones Sherpa, entre los 1.500 y 4.500 m.; y los Chaka, entre los 3.000 y 4.500m.;

2. Monte Simiano en Etiopía, Africa, donde se encuentran los Amhara, entre 1.500 y 3.700 m., y

3. Andes Centrales en América del Sur, con diversas poblaciones: Quechua, Aymara, Chipaya, entre los 600 y 5.500 m.

ADAPTACIONES MORFOLÓGICAS.

Se ha comprobado (Frisancho y Baker, 1970) que en la población Quechua de Ñuñoa, Perú, a una altitud de 4.000 a 5.500 m., los patrones de desarrollo físico se caracterizan por:

- 1) Dimorfismo sexual tardío;
- 2) Crecimiento lento y prolongado en tamaño corporal;
- 3) Despegue de estatura de adolescentes tardía y pobremente definida en ambos, masculinos y femeninos, y
- 4) Desarrollo acelerado del tamaño torácico.

Los autores sostienen que los factores socio-económicos asociados con diferencias rural-urbano y de altitud parecen estar reflejados en mayor depositación de grasa subcutánea e incremento de peso, pero parece no influenciar el desarrollo de la estatura. Asimismo sugieren que el patrón de crecimiento de la población de Ñuñoa está relacionado con los efectos de la hipoxia a gran altitud, y/o refleja una adaptación genética a tal stress. En estudios antropométricos y fisiológicos comparativos de poblaciones a diferentes altitudes aparece una pequeña diferenciación en estatura y peso menor en niños que viven a más de 4.500 m., comparado con niños de 4.000 m. En contraste, los residentes de mayor altitud tienen significativamente mayor circunferencia torácica a máxima inspiración que el grupo comparativo. En la población adulta de mayor altitud se encuentran un mayor peso y gordura, pero no presenta una estatura mayor que su contraparte de los 4.000 m. En Etiopía asimismo, Clegg y col. (1970), señalan que tanto hombres como mujeres nacidos a 3.000 m. de altitud son más pesados que los nacidos a 1.500 m.; en cambio, encuentran que las mujeres de gran al-

titud son también más altas. En un estudio sobre crecimiento en niños en Etiopía (Clegg, Pawson, Ashton y Flinn en preparación), muestran que los habitantes de altura son más altos y pesados que los habitantes de tierras bajas en todas las edades. Para otros rasgos mensurables también los datos sugieren que la gente de altura crece más rápido que la gente de tierras bajas (Clegg, Harrison y Baker, 1970), así Frisancho (1970), plantea como evidente que la circunferencia torácica a máxima inspiración relativa a la estatura es considerablemente mayor entre los residentes sobre los 4.500 m., señalando que esta diferencia parece ser más marcada entre los 14 y 18 años de edad.

Según Clegg y col. (1970), en Los Andes con la mayor variación de altitud, las diferencias en morfología y crecimiento están revertidas. Estudios seccionales y semilongitudinales (Frisancho, 1969) revelan una retardación en el crecimiento de Quechuas de altura comparados con los de tierras bajas. Además, en relación al retardo en el crecimiento hay también un retardo en la menarquía en 1 y 1/2 años en niñas residentes en las partes altas de Chile (Cruz-Coke, 1968).

Rothhammer y Spielman (1972) señalan una fuerte correspondencia entre altitud y variación antropométrica en poblaciones Aymara del norte de Chile. Variabilidad ésta que se debe a una constelación de factores medio ambientales correlacionados con la gran altitud, e. g. presión atmosférica, clima, terreno, radiación cósmica y diferencias nutricionales.

En general, los diversos autores consultados indican que factores nutricionales estarían influyendo, tanto en la morfología como en relación a la concentración de hemoglobina, pero en pocas investigaciones efectuadas en poblaciones que habitan a gran altitud se ha efectuado un análisis concreto de la ingesta calórica (ver, sin embargo Thomas, 1972).

ADAPTACIONES CARDIO-RESPIRATORIAS.

El factor fundamental al cual debe someterse el organismo en habitat de altura sobre los 2.000 metros sobre el nivel del mar, es la dis-

minución en la concentración de oxígeno de la atmósfera (cantidad de moléculas por litro de aire) ocasionando una situación fisiológica llamada "hipoxia" que se refiere a "menos oxígeno" del necesario o requerido en los tejidos (Frisancho, 1971). Esta menor cantidad de moléculas de oxígeno provoca también una menor presión barométrica (Tabla 1).

"Esta disminución en la presión del oxígeno es la que crea el problema de la hipoxia de la altura que resulta en una disminución en el abastecimiento de oxígeno debido a una dificultad para adquirir al nivel alvéolo pulmonar el oxígeno que las células necesitan para su normal funcionamiento" (Frisancho, 1971).

En los pulmones, a nivel del mar toda la hemoglobina es saturada con oxígeno, es decir la saturación de la sangre arterial es de 100%, en cambio a una altura de 4.500 m. la sangre arterial está saturada sólo en un 80% (Hurtado, 1964). El oxígeno ha disminuido en un 20% por cada unidad de volumen de sangre que sale del pulmón, razón por la cual el organismo responde aumentando la cantidad de hemoglobina que tiene la sangre, que a su vez, requiere un aumento de la cantidad de glóbulos rojos y del volumen total de la sangre. Al nivel del mar la hemoglobina por cc es de 15,6 gr., en cambio sobre los 3.000 m. la hemoglobina es más de 18 gr. (Reynafarje, 1957).

La base principal del obstáculo respiratorio a grandes altitudes se debe a que aunque la cantidad de oxígeno que hay en la sangre de un nativo de altura sea igual a la de un hombre del nivel del mar, este oxígeno está a menor presión, por lo tanto con menor fuerza para atravesar las estructuras tisulares (Frisancho, 1971). Los tejidos se adaptan a la disminuida presión del oxígeno, reduciendo el camino que el oxígeno tiene que recorrer mediante la formación de mayor número de capilares; así en habitantes de altura, por cada cm² de tejido hay más de 2.000 vasos capilares, mientras que al nivel del mar hay menos de 1.600 vasos capilares (Valdivia, 1966). Esta mayor vascularización en la altura resulta en una menor resistencia a la

circulación y que se traduce en una menor presión arterial sistémica comparado con los valores del nivel del mar (Frisancho, 1971).

ALTERACIONES RESPECTO AL TAMAÑO DE LA PLACENTA Y TAMAÑO DEL FETO.

Las respuestas adaptativas, tanto morfológicas como fisiológicas a la hipoxia de la altura se manifiestan desde el período prenatal. "La placenta del nativo de altura pesa como promedio de 568 a 603 grs. y en la costa al nivel del mar pesa 544 a 594 grs., pero en la altura el recién nacido pesa como promedio 2.730 a 3.092 grs., y al nivel del mar el peso es de 3.297 a 3.612 grs." (Frisancho, 1971), dando un índice placentario de 0.18 a 0.20 en la altura y de 0.15 a 0.16 al nivel del mar.

Frisancho (1970), señala 3 conclusiones principales respecto a desarrollo de respuestas a la gran altura:

1) El pequeño peso al nacimiento en poblaciones nativas de gran altitud, son respuestas adaptativas para reducir los requerimientos de oxígeno, mientras que el relativo aumento en el peso de la placenta es un mecanismo de compromiso para aumentar el volumen y área de superficie para una mejor oxigenación;

2) La pequeña estatura de los nativos de gran altitud se debe a un crecimiento prenatal y postnatal lento, y

3) El mayor tamaño del tórax, aumento del volumen pulmonar y predominancia del ventrículo derecho del corazón se deben a un desarrollo acelerado durante la infancia y adolescencia.

Sin embargo, señala Frisancho (1970), no hay información adecuada para determinar si el desarrollo de respuestas de los nativos de gran altitud son especificaciones de la población basada en una estructura genética diferente de la de las poblaciones a nivel del mar.

ADAPTACIÓN DEL NATIVO DE NIVEL DEL MAR A LA ALTURA.

En estudios comparativos de poblaciones re-

Tabla 1
 VARIACION DE LA PRESION BAROMETRICA
 Y PRESION PARCIAL DE OXIGENO
 RELACIONADOS A DIFERENCIAS
 ALTITUDINALES

	Nivel del mar mmHg	2.000 m mmHg	3.400 m mmHg	4.000 m mmHg
Presión barométrica	760	600	512	473
Presión Parcial de O ₂	160	130	107	99

*Datos obtenidos de Frisancho (1971).

sidentes a altura, pero nativos de nivel del mar y nativos de altura, Frisancho (1971), encuentra que después de medir las reacciones

fisiológicas durante la prueba de máximo esfuerzo físico, los nativos de nivel del mar tienen una capacidad aeróbica de 37,98 ml/Kg/min, valor significativamente (P 0,1) más bajo que la del grupo de altura, con 46,25 ml/Kg/min.

Asimismo señala que en el estado adulto, después de un año de residencia en altura, la aclimatación ha llegado prácticamente a su máximo, demostrando así que si el individuo no está expuesto a la hipoxia de la altura durante el período de crecimiento, el proceso de adaptación fisiológica es limitado en lo que a actividad física se refiere.

Correspondiendo una mayor adaptación a los niños hasta de 7 años de edad que han llegado a vivir a gran altura; aquellos niños que han llegado después de los 10 años alcanzan un nivel de adaptación menor.

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

- CLARK, J. D., 1969.
 "Milling masses and open spaces". Manuscrito.
- CLEGG, E. J.; HARRISON, G. A. y BAKER, P. T., 1970.
 "The impact of high altitudes on human populations". Human Biology, 42.
- CRUZ-COKE, R.; CRISTOFFANINI, A. P.; ASPILLAGA, M. y BIANCANI, F., 1966.
 Evolutionary forces in human populations in an environmental gradient in Arica, Chile". Human Biology, Nº 38.
- CRUZ-COKE, R., 1968.
 "Genetic characteristics of high-altitude populations in Chile". WHO/PAHO/IBP. Meeting of investigators on population biology of altitude. Pan-American Health Organization, 525 Twenty-Third St. N. W. Washington, D. C.
- DE JONG, G. F., 1968.
 "The demography of high altitude populations" WHO/PAHO/IBP. Meeting of investigator on population biology of altitude Pan-American Health Organization, 525 Twenty-Third St. N. W. Washington, D.C.
- FRISANCHO, A. R., 1969.
 "Human growth and pulmonary function of a high altitude peruvian quechua population". Human Biology Nº 41.
- FRISANCHO, A. R., 1970.
 "Developmental Responses to High altitude Hipoxia". American Journal of Physical Anthropology, Vol. 32.
- FRISANCHO, A. R. y BAKER, P. T., 1970.
 "Altitude and Growth: A study of the patterns of physical growth of a high altitude peruvian quechua population". Symposium on Human Adaptation, Reprint from American Journal of Physical Anthropology, Vol. 32, Nº 2.
- FRISANCHO, A. P., 1971.
 "Adaptación Biológica a la altura". Cuzco, Perú.
- HURTADO, A., 1964.
 "Animals in High altitudes resident man" en Handbook of Physiology Section IV. Adaptation to the environment (843-860). D. B. Dill, E. F. Adolph and G. Wilker (Eds.). American Physiological Society, Washington, D. C.
- KATS, S. H., 1970.
 "Introduction to Session". Symposium on Human Adaptation. Reprint from American Journal of Physical Anthropology, Vol. 32, Nº 2.
- REYNAFARJE, C., 1957.
 "The influence of high altitude on erythropoetic activity". Prookhaven Symp. Biol. 10.
- ROTHHAMMER, F. y SPIELMAN, R. S., 1972.
 "Anthropometric variation in the Aymara: genetic, geographic and topographic contributions". The American Journal of Human Genetics Vol. 24, Nº 4.
- THOMAS, R., 1972.
 "Human adaptation to a High Andean energy flow system". Tesis inédita, Pennsylvania. USA.
- VALDIVIA, E., 1966.
 "Observaciones sobre la red capilar de los músculos estriados de cobayos de la altura". Arch. del Inst. Biol. Andina. Vol 1.
- WEINER, J. B., 1964.
 "In Harrison, G. A.; J. S. Weiner, N. A. Barnicot and J. M. Tanner. Human Biology, Clarendon Press, Oxford.