# III. La fisiología de Daniel Vergara Lope Escobar. Reinterpretación de algunos de sus datos

José Rogelio Pérez-Padilla*

**Resumen**

*El fisiólogo mexicano Daniel Vergara Lope Escobar (1865-1938), investigó con diferentes enfoques la fisiología de las alturas moderadas, especialmente en el altiplano mexicano. Describió varios mecanismos de adaptación a la altura que desde su perspectiva protegían contra la Anoxihemia Barométrica, fenómeno que según una teoría francesa, estaba presente en el valle de México (y en la altura en general) y era deletéreo para la supervivencia y el funcionamiento, sobre todo intelectual. El objetivo de este trabajo, es analizar los primeros datos experimentales que publicó el doctor Vergara Lope, particularmente sus resultados de capacidad vital y frecuencia respiratoria. La capacidad vital que describe en 111 sujetos experimentales, es ligeramente mayor a la reportada en la población contemporánea de México y presenta una gran dispersión que probablemente indique imprecisión en las mediciones. Sin embargo, la frecuencia respiratoria (22 por minuto) es considerablemente superior a la descrita en sujetos normales, tanto de la ciudad de México como en poblaciones de Serpas y Aymaras residentes entre 3000 y 4000 metros.*

**Palabras clave:** *México, Daniel Vergara Lope Escobar, altitud, aclimatación.*

**Resumen**

*The Mexican physiologist Daniel Vergara Lope did research on medium-altitude physiology, mainly in Mexico's central plateau, using several approaches. He described various mechanisms of adaptation to higher elevations that he felt protected people from a condition called barometric anoxyhemia. According to a French theory, this phenomenon occurred in the Valley of Mexico (and, generally, at higher elevations) and was deleterious for human survival and functioning, especially, with regard to intellectual capacity. The objective of this paper was to analyze Dr. Vergara Lope's early published experimental data, especially that concerning respiratory capacity and frequency. The respiratory capacity he describes for 111 experimental subjects is slightly greater than that reported for the contemporary Mexican population and reveals a broad dispersion that may indicate lack of precision in measuring. However, his data on respiratory frequency (22 per min) are considerably higher than those for normal subjects in Mexico City and Sherpa and Aymara populations living at elevations of 3000 to 4000 meters.*

**Key words:** *Mexico, Daniel Vergara Lope, altitude, acclimatization.*

## Introducción

El doctor Daniel Vergara Lope Escobar estudió durante casi 30 años el cuerpo del hombre mexicano, con el objetivo principal de demostrar que no era inferior por vivir en el Valle del Anáhuac.[1,2] Siendo estudiante de medicina, Daniel leyó Les altitudes de l'Amérique Tropicale[3] del médico francés Denis Jourdanet (1815-1892). El libro expone sus impresiones acerca de la influencia de la altitud en la vida de los habitantes del Valle del Anáhuac y propone la Anoxihemia Barométrica, mecanismo de daño por la altura que en su concepto empobrecía la capacidad intelectual. La baja presión barométrica (585 mm de Hg) y la elevada altura (2240 m) del valle de México, hacían que sus habitantes respiraran un aire *enrarecido* con menor concentración de oxígeno, lo que les causaba pereza física y anemia intelectual.

La sangre, empobrecida de oxígeno, no estimula más que imperfectamente el sistema nervioso, cuyas funciones se ejercitan sin energía, causando apatía física y el abatimiento moral de las altitudes.[5]

**Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias.*
Correspondencia y solicitud de sobretiros. Dr. Rogelio Pérez Padilla. Tlalpan 4502, 14080 México, D. F. Teléfono y fax 5666-8640. perezpad@servidor.unam.mx

La tesis de graduación de Daniel Vergara Lope fue una: Refutación Teórica y Experimental de la Teoría de la Anoxihemia, tema al que finalmente dedicaría toda su vida. Concluyó que la teoría de la Anoxihemia Barométrica era falsa, basado en sus resultados experimentales cristalizados en lo que el llamó la Ley de la Compensación.[4] La ley propone que la mayor altura, el número de respiraciones aumenta proporcionalmente al incremento de la altura. La ampliación en la profundidad respiratoria, el incremento de la frecuencia cardíaca y la poliglobulia eran opcionales.[5] En este trabajo describimos brevemente algunos de sus resultados experimentales,[5,6] que han sido motivo de una publicación detallada.[7]

## Método

El doctor Vergara Lope subió al volcán Popocatépetl con grupos de personas de muy diversas características para medir sus variables fisiológicas. En este trabajo sometemos los resultados de esos estudios (1890 y 1893) vertidos en tres tablas a los métodos actuales. En una base de datos se capturó la información fisiológica de los 111 sujetos estudiados y se vació en dos tablas y una figura. Se eliminaron las mediciones repetidas de los que fueron estudiados en más de una ocasión durante su ascenso al Popocatépetl. Se consignaron edad, sexo, talla, peso, frecuencia respiratoria, volumen corriente y capacidad vital. Con base en la talla y el sexo, se calculó la capacidad vital esperada de acuerdo a los datos obtenidos por Pérez-Padilla y colaboradores[8] en un estudio de trabajadores mexicanos y también se compararon contra valores encontrados en mexicano-americanos.[9]

De igual manera se compararon los valores de frecuencia respiratoria, volumen corriente y ventilación minuto, con otros reportados en México[10,11] y en poblaciones tibetanas y aymaras que viven a 4000 metros de altitud aproximadamente.[12] También se incluyeron valores de peruanos a nivel del mar y en Morococha a 4450 metros.[13]

## Resultados

La población estudiada por Daniel Vergara Lope, se obtuvo por lo que ahora llamaríamos un muestreo por conveniencia. Se seleccionaron sujetos disponibles eliminando a los claramente enfermos, estrategia tradicional de los fisiólogos. En la actualidad, sería indispensable mencionar la exposición a tabaco, quizá poco usual en aquella época y la exposición a humo de leña (probablemente generalizada) y a polvos o substancias químicas. Se ignoraba el papel deletéreo del humo de tabaco o leña, pero no el impacto de los polvos en los trabajadores que conocido en los mineros desde el renacimiento. Los cambios fisiológicos más adaptativos e importantes para una especie, se pueden ver con claridad en pocos sujetos estudiados. Por otro lado, cambios más finos e inconstantes, requieren poblaciones muy numerosas. Es pues justo decir, que con la población estudiada, el doctor Daniel Vergara Lope era capaz de detectar los mecanismos más importantes desde el punto de vista adaptativo.

La metodología utilizada en la espirometría está ausente de la descripción, lo que contrasta con el gran detalle con que se especifican los métodos para la cuenta eritro-

**Cuadro I. Descripción de la población estudiada por Vergara Lope**

| Variable | n | Promedio | DE |
|---|---|---|---|
| Edad | 111 | 33.3 | 14.7 |
| Altitud (m) | 95 | 2237 | 411 |
| Talla (cm) | 111 | 164.2 | 7.0 |
| Peso (Kg) | 45 | 62.7 | 7.8 |
| Circunferencia torácica (cm) | 53 | 89.9 | 6.3 |
| Capacidad vital (L) | 110 | 4.8 | 1.3 |
| Frecuencia respiratoria | 111 | 22.8 | 2.4 |
| Frecuencia cardíaca | 111 | 79.2 | 10.2 |
| Hemoglobina | 51 | 14.7 | 1.2 |
| Cuenta eritrocítica (millones/mm3) | 51 | 6.3 | 1.3 |
| Indice de masa corporal (Kg/m2) | 45 | 23.2 | 3.2 |
| Volumen corriente (L) | 53 | 0.57 | 0.10 |
| Ventilación minuto (L/min.) | 53 | 13.2 | 2.74 |
| **Capacidad vital como % del predicho en otras poblaciones** | | | |
| Trabajadores mexicanos* | 110 | 104.2 | 36.5 |
| México-americanos* | 110 | 109.0 | 39.5 |

*DE = desviación estándar.*
*Sujetos reportados en la tabla 1, 2 y 3, N =111, solo 10 mujeres*
** Trabajadores mexicanos del estudio de Pérez-Padilla y cols, México-americanos del estudio de Haankinson y cols.**

crítica. El uso del espirómetro se describió por John Hutchinson (1811-1861) en 1844 y asumimos que a pesar de los problemas metodológicos que los investigadores de entonces tendrían, le otorgaban validez y confiabilidad. Ahora sabemos que se requiere una serie de controles de calidad que inician con el equipo mismo y siguen con los procedimientos para estandarizar la prueba, los valores de referencia y la interpretación de los resultados.[14,15] Para los estándares actuales, el estudio espirométrico del fisiólogo del siglo XIX puede considerarse cuestionable. Los espirómetros disponibles eran volumétricos de campana con sello acuoso, que son bastante precisos para medir capacidad vital. En la actualidad se incluyen flujos en las mediciones y especialmente el volumen espiratorio forzado en el primer segundo (FEV1), que requieren baja inercia del equipo y una respuesta precisa a eventos de alta frecuencia, característica que los de campana metálica no suelen tener. Los espirómetros requieren una calibración diaria para tener certeza de su confiabilidad. Esta se realiza con una jeringa calibrada de tres litros. También puede hacerse con un sistema de desplazamiento de agua, del que se disponía en esa época. Así mismo, el trazo espirométrico ayuda considerablemente a la interpretación de los datos y a valorar su calidad, mismos que no se reportan en el trabajo de Vergara Lope, aunque de disponía de quimógrafos y hubiera sido posible registrarlos.

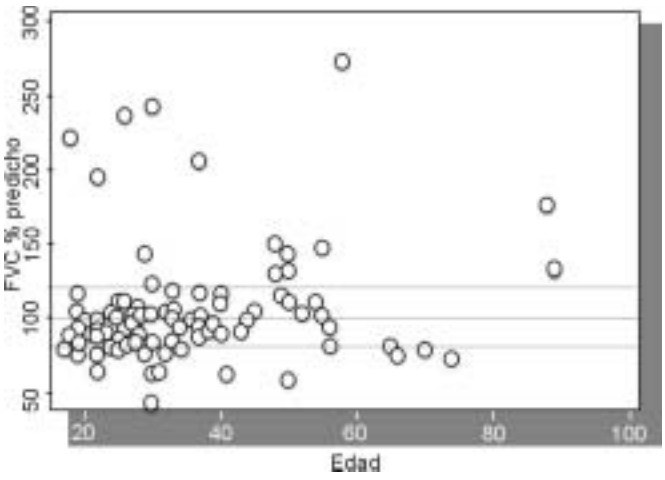


Figura 1. Capacidad vital de los sujetos estudiados por Vergara Lope expresados como porciento del predicho para trabajadores mexicanos en función de la edad. Obsérvese la dispersión de los valores, aunque los promedios se centran alrededor del 100. Algunos sujetos con valores muy incrementados sobre el promedio.

En el cuadro I se presentan los datos reportados por Vergara Lope en los tres cuadros que conjuntan los resultados de sus dos primeros libros. El grupo estudiado fue prácticamente de hombres. Puede observarse que la capacidad vital está un poco por encima de la esperada para las poblaciones actuales mexicanas con la misma talla. En la figura 1 se muestra la dispersión de los valores como porciento del predicho para una población de trabajadores mexicanos. El promedio está 4% por encima de los valores de referencia, pero se cuenta con una gran dispersión y con sujetos muy por fuera de lo esperado, tanto hacia arriba como hacia abajo.

En el cuadro II se muestra el patrón ventilatorio de los sujetos estudiados por Vergara Lope y otros reportados en mexicanos y en sujetos a la altura. Puede verse que la frecuencia respiratoria es considerablemente superior (22 por minuto) a la encontrada posteriormente en mexicanos, e inclusive en habitantes del Tibet y nativos aymaras en alturas superiores (4000 metros), con frecuencias de alrededor de 16 por minuto. La FR de 22 por minuto es similar a la encontrada en la ciudad de México en enfermos respiratorios con fibrosis pulmonar y con Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica.[16,17]

**Cuadro II. Ventilación minuto, frecuencia respiratoria, medias y de VT y pulso**

| Variable | Vergara-Lope | México (Staines y cols) | México (Muñoz Bojalil) | Lima (Hurtado) | Morococha (Hurtado) 4450m | Sherpas (3800 -4000 m) | Aymaras (3800-4000 m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| N | 53 | 300 | 35 | | | | |
| Ventilación minuto (L/min) | 13.2 (2.7) | | 8.7 (1.17)& | 8.24 (0.17) | 9.73 (0.30) | 19.7 (8.4) | 13.4 (2.4) |
| FR (por minuto) | 22.8 (2.4) | 17 (2) | 16 (3) | 14.7 (0.5) | 17.3 (0.46) | 14.8 (3.4) | 15.5 (2.8) |
| Vt (L) | 0.57 (0.10) | | 0.53& | 0.6 (0.02) | 0.59 (0.03) | 1.4 (0.6) | 0.9 (0.2) |
| Pulso (por minuto) | 79.2 (10.2) | | | | | 73 (13) | 67 (11) |

Todos los datos son en hombres adultos, los de Vergara Lope, Staines, Muñoz Bojalil, fueron estudiados a una altura aproximada de 2240 metros mientras que Lima, Perú está al nivel del mar. Datos de Serpas y Aymaras del estudio de Beall y colaboradores. Vt es el volumen corriente, FR es la frecuencia respiratoria.
& Calculado a partir de ecuaciones predichas por metro cuadrado de superficie.

## Discusión

La gran dispersión de valores de capacidad vital reportados por Daniel Vergara Lope, parecen reflejar más que nada imprecisión técnica en la medición. La desviación estándar de las mediciones como porciento de los predichos, es entre 30 y 50%, lo que implica un coeficiente de variación de cuando menos 30%, muy por encima de 12% que habitualmente se observa en poblaciones.[9] Esto hace pensar en imprecisión del espirómetro y en el método de medición, situación que nuestro autor no especifica. Sin embargo, los promedios obtenidos en hombres, están alrededor de 4% por encima de los de referencia en trabajadores mexicanos estudiados recientemente, lo cual no es una diferencia importante desde el punto de vista fisiológico. Como son mediciones ajustadas por talla, edad y sexo, una posibilidad es que los sujetos de Vergara, tuvieran una relación de la longitud de tronco y talla diferente. Es decir, piernas más pequeñas y tórax más voluminoso para la misma talla. De hecho, la talla promedio reportada por Daniel Vergara Lope, parece menor a la encontrada actualmente en la población metropolitana (es atractivo señalar que a la edad de 41 años, Daniel medía 1.62 cm y pesaba 61.8 kg).

La frecuencia respiratoria encontrada por el fisiólogo de hace un siglo, es superior a la encontrada recientemente en población mexicana, e inclusive superior a la establecida en alturas superiores a la de México, como la de poblaciones Sherpas en Tibet y Aymaras en la zona Andina. Es similar a la reportada en enfermos estudiados con problemas pulmonares restrictivos o enfisema en la ciudad de México. Esta diferencia es difícil de explicar sólo por variaciones técnicas. Es interesante ver cómo pretende atribuir el incremento ventilatorio, únicamente al aumento en la frecuencia respiratoria sin modificación en la profundidad, el volumen corriente. Curiosamente, lo que se ha observado en alturas moderadas es precisamente lo contrario. Es decir, se tiende a mantener la frecuencia respiratoria y a incrementar el volumen corriente; más profundidad con el mismo ritmo. En esta medición cabría la posibilidad de un sesgo, consciente o inconsciente de parte del experimentador.

## Conclusión: ¿la adaptación es perfecta?

Los sistemas de control o los homeostáticos, se caracterizan por mantener una variable fisiológica en un margen estrecho, pero no se obtiene el mantenimiento de un valor constante o se logra dentro de márgenes muy limitados. Fuera de ese margen, los sistemas homeostaticos reducen los cambios corporales inducidos por el medio ambiente, o bien, ya no ejercen control y el medio interno sigue los cambios del externo. Hablando de los cambios por la altura, sin duda que la presión arterial de oxígeno no puede ser controlada a la perfección. Aún en alturas moderadas como la de México, la PaO2 es menor a la del nivel del mar incluso después de la aclimatación.

El cambio más importante de aclimatación es el incremento ventilatorio. Mucho menos relevantes son los incrementos en la hemoglobina y la compensación metabólica, respecto a la hiperventilación aguda desencadenada por la hipoxemia. Un desplazamiento de la curva de disociación a la izquierda, puede favorecer la captación de oxígeno a alturas extremas como sucede en el Everest, pero no es un hallazgo regular como sucede con las Llamas. Los cambios tisulares ya sea en su irrigación o en su metabolismo aeróbico, tardan más en ocurrir pero pueden ser más relevantes. Es conocida la disminución de tolerancia al ejercicio aeróbico en la ciudad de México con relación a la observada a nivel del mar. En este sentido no existe la aclimatación perfecta a la altitud. Carecemos de datos del funcionamiento neuropsicológico en personas aclimatadas a diferentes alturas, lo que podría ser una información relevante para evaluar la adaptación a la altura tomando en cuenta el funcionamiento del órgano humano por excelencia, el cerebro. Así mismo, carecemos de información detallada sobre la sobrevida esperada a diferentes alturas y la capacidad reproductiva, parámetros sin duda relevantes desde el punto de vista de la adaptación biológica. Lo que es claro es que la capacidad física no logra una adaptación completa, sólo parcial.

Se trata pues de un sistema de control imperfecto, que disminuye los cambios provocados por un medio ambiente aberrante. Este tipo de control más que la excepción, es la regla en los sistemas fisiológicos. Por ejemplo, los sistemas homeostáticos amortiguan los cambios en el pH sanguíneo por la introducción de un ácido o un álcali. De manera similar, la aclimatación es un sistema amortiguador de la hipoxemia producida por la altura.

A pesar de los mecanismos de aclimatación, se llegará a una altura que produzca ya sea en el hombre o en animales con mejor adaptación, una hipoxemia grave o fatal. Jourdanet estuvo en lo correcto al proponer el síndrome que llama anoxihemia barométrica, pero Vergara Lope tuvo razón al considerarla poco relevante a la altura del valle de México. Denis Jourdanet exagera en el impacto de la altura a 2200 metros y Daniel Vergara Lope en la perfección de los mecanismos de aclimatación.

No sería justo minimizar el valor del doctor Daniel Vergara Lope, debido a que en la fisiología de las alturas está la base de la moderna fisiología mexicana. Al mismo tiempo que aplicó el método experimental en el sentido más estricto, integró al laboratorio el uso de instrumentos y de las matemáticas y entendió tempranamente la importancia del estudio poblacional:

No sabemos cómo somos, ni qué talla, ni qué peso, ni qué circunferencia de pecho, ni qué condiciones debe llenar nuestra sangre, ni cuántos litros de orina emitimos en 24 horas !!...Basta abrir un libro de fisiología en francés (casi siempre en francés) y copiar. ¿Qué más da? Ni nuestro clima, ni nuestra alimentación, ni nuestras costumbres en general han de alterar en México los resultados parisienses!!

## Referencias


1. **Rodríguez de Romo AC.** La fisiología de las alturas en el siglo XIX mexicano: implicaciones médicas, científicas y sociales. En: México en el siglo XX, México: Archivo General de la Nación;1999. pp. 640-663.
2. **Rodríguez de Romo AC.** Un científico mexicano y su visión romántica de la fisiología de las alturas. Ciencia y Desarrollo 2000;24:40-47.
3. **Jourdanet D.** Les altitudes de l'Amerique Tropicale. Paris, Francia: Baillière; 1861.
4. **Cházaro L.** La fisioantropometría de la respiración en las alturas, un debate por la patria. Ciencias 2000-2001;60-61:37-43.
5. **Vergara Lope D.** Refutación teórica y experimental de la teoría de la anoxihemia barométrica del Dr. Jourdanet. México: Oficina Tipográfica de la Secretaría de Fomento; 1890.
6. **Vergara Lope D.** La anoxihemia barométrica. Medios fisiológicos y mesológicos que ayudan al hombre a contrarrestar la acción de la atmósfera rarificada de las altitudes. México: Oficina Tipográfica de la Secretaría de Fomento;1893.
7. **Rodríguez de Romo AC, Perez-Padilla JR.** The Mexican response to high altitudes in the 1890's: The case of a physician and his "Magic Mountain". Medi Hist 2003:47:493-516.
8. **Pérez-Padilla JR, Regalado J, Vázquez JC.** Reproducibilidad espirométrica y adecuación a valores de referencia internacionales en trabajadores mexicanos demandando incapacidad. Salud Publica Mex 2001. En prensa.
9. **Hankinson JL, Odencrantz JR, Fedan KB.** Spirometric reference values from a sample of the general US population. Am J Respir Crit Care Med 1999;159:179-187
10. **Staines E, García-Trigueros J, Muñoz-Bojalil B.** Algunos aspectos de la función cardiopulmonar en la ciudad de México. Neumol Cir Torax 1971:32:369-386.
11. **Muñoz-Bojalil BR.** Estudios de ventilación pulmonar, de gases y pH en sangre arterial en sujetos sanos en la ciudad de México. Neumol Cir Torax Mex 1972;33:133-138.
12. **Beall CM, Strohl KP, Blangero J, Williams-Blangero S, Almasy LA, Decker MJ, Worthman CM, Goldstein MC, Vargas E, Villena M, Soria R, Alarcón AM, González C.** Ventilation and hypoxic ventilatory response of Tibetan and Aymara high altitude natives. Am J Phys Anthropol 1997;104(4):427-447.
13. **Hurtado A.** Animals at high altitude: resident man. Ch. 54. Handbook of physiology: adaptation to environment. American Physiological Society;1964.
14. American Thoracic Society. Standardization of spirometry. 1994 update. Am J Respir Crit Care Med 1995;152:1107-1136.
15. American Thoracic Society. Lung function testing: selection of reference values and interpretative strategies. Am Rev Respir Dis 1991;144:1202-1218.
16. **Vázquez JC.** Respiración nocturna en pacientes con enfermedad pulmonar intersticial y enfermedad pulmonar obstructiva crónica en la ciudad de México a 2240 m de altura sobre el nivel de mar. Tesis de Maestría en Ciencias Médicas. México: UNAM, Facultad de Medicina, Sede Sur;1996.
17. **Chi-Lem G, Pérez-Padilla JR.** Gas exchange at rest during simulated altitude in patients with chronic lung disease. Arch Med Res 1998;29:57-62.