

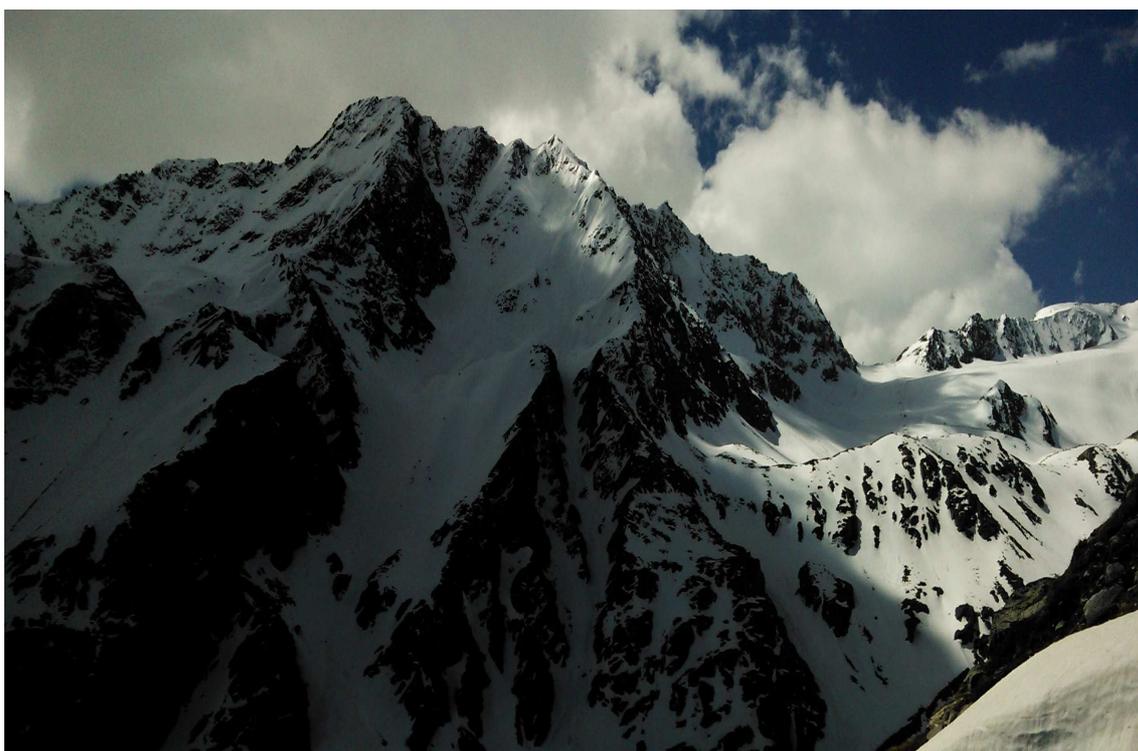
## Aclimatación a la altitud: vivir sin oxígeno

### Ignasi Junyent Mora

Uno de los aspectos más estudiados en fisiología humana, es los efectos que produce la altitud en nuestro organismo. Es sabido que a medida que va aumentando la altitud, disminuye la presión barométrica y, por lo tanto, también se reduce la disponibilidad de oxígeno, dificultando la vida humana a grandes alturas. Ante esta carencia de oxígeno, se producen una serie de cambios funcionales y/o estructurales en el organismo que permiten poder hacer frente a las condiciones ambientales a las cuales se está sometido. Esta serie de cambios es conocida como aclimatación, suele tardar entre dos y tres semanas a producirse, y es lo que experimentan por ejemplo los alpinistas cuando realizan expediciones de alta montaña.

El aumento de la popularidad del alpinismo, así como del esquí y del turismo en zonas de alta montaña, han hecho que cada vez haya más gente que se exponga a la altura y ésto ha hecho crecer el interés para entender mejor como se produce este proceso de aclimatación. Pero no sólo hay más gente que se expone a la altitud por motivos de ocio, sino también por motivos profesionales, como por ejemplo los trabajadores de explotaciones mineras que se encuentran en altitud o los equipos de rescate de montaña. Es por lo tanto importante la investigación para descubrir qué mecanismos de respuesta tiene el organismo para hacer frente a las condiciones adversas a las cuales se encuentra cuando está en altitud, puesto que puede comportar beneficios sanitarios y de calidad de vida para aquellos que tienen que pasar un periodo de tiempo en altura.

En el Departamento de Fisiología de la Facultad de Biología encontramos el Grupo de Fisiología Adaptativa: Ejercicio e Hipoxia, con el Dr. Ginés Viscor al frente. Este grupo, con una amplia trayectoria de investigación en la UB, ha basado gran parte de su investigación en estudiar qué y cómo son las respuestas adaptativas provocadas por una restricción en el suministro de oxígeno a los tejidos, y centra una especial atención sobre los ajustes centrales y periféricos que se producen cuando se está bajo una exposición intermitente a hipoxia hipobàrica.



## Ambientes con falta de oxígeno

De entre todos los elementos desfavorables para la vida humana presentes en altitud, el más difícil de vencer es la hipoxia. Cuanto más arriba se está, más baja es la presión atmosférica. Esto hace que haya una disminución en la presión parcial de oxígeno y que se produzca una condición de hipoxia hipobárica. Cuando los humanos se encuentran expuestos a la hipoxia, se activan una serie de mecanismos fisiológicos controlados por el sistema nervioso para hacer frente a la situación y compensar las condiciones atmosféricas adversas a las cuales está siendo sometido.

La baja presión atmosférica se traduce en un descenso en la presión parcial de oxígeno en los alvéolos pulmonares, que a su vez causa que disminuya la presión parcial de oxígeno arterial, es decir, que provoca una disminución en la cantidad de oxígeno que transporta la sangre. El descenso de la presión parcial del oxígeno arterial estimula unos quimiorreceptores que, a través de impulsos nerviosos provocan una hiperventilación del organismo para poder aumentar el transporte de oxígeno en sangre. Esta hiperventilación también hace que se eliminen grandes cantidades de dióxido de carbono, de forma que disminuye su presión parcial arterial y se produce un aumento en el pH sanguíneo. Este aumento del pH provoca una respuesta por parte del riñón, que aumenta la secreción de bicarbonato y disminuye la de protones. Además, también aumenta la frecuencia cardíaca para mantener la relación que mantiene con la ventilación y para mantener el transporte de oxígeno a niveles basales. También se produce un aumento en la capacidad de difusión pulmonar del oxígeno y una vasoconstricción pulmonar.

La estancia prolongada a grandes altitudes hace que el organismo genere unas respuestas a medio plazo que permiten soportar la hipoxia hipobárica, es lo que se conoce como aclimatación. Una de estas respuestas ya la hemos comentado anteriormente y se trata de la hiperventilación. Pero aparte de esto, también hay un aumento en el número de glóbulos rojos. Esto hace que a su vez aumente la concentración de hemoglobina, la proteína encargada de transportar el oxígeno a la sangre. También hay un aumento en el número de capilares circulatorios y un aumento en el número de mitocondrias celulares, de forma que la utilización del oxígeno es más eficaz.

Estas respuestas dependen en gran parte de la expresión del factor de transcripción inducible por hipoxia (HIF-1 $\alpha$ ), un dímero que se encuentra presente en todos los tejidos. Cuando los niveles de oxígeno son los normales, el HIF-1 $\alpha$  es degradado en la célula, puesto que otra molécula la hidroxila (i. e. cambia un átomo de hidrógeno por un grupo hidroxilo) y lo marca para ser degradado. Pero cuando el organismo se encuentra en ambiente de hipoxia, esta segunda molécula no puede hidroxilar el HIF-1 $\alpha$ , de forma que no sólo no se degrada, sino que además entra en el núcleo celular y actúa como factor de transcripción uniéndose a ciertos elementos presentes en el ADN.

La exposición prolongada a hipoxia hipobárica también puede tener efectos negativos para el organismo. Entre otros efectos, se produce un deterioro físico, con una disminución del peso corporal, en parte causado por una reducción de la masa muscular. El aumento del número de glóbulos rojos puede hacer aumentar la viscosidad de la sangre y también puede causar una trombosis venosa profunda. Además, hay una serie de patologías que están asociadas a la altitud, como por ejemplo el mal de montaña o la enfermedad de Monge.

Pese a los efectos negativos que puede causar la hipoxia hipobárica, hay más de 100 millones de personas en el mundo que viven en altitudes superiores a los 2.500 metros, y de hecho en

los Andes hay poblaciones estables por encima de los 4.900 metros. Estos individuos han integrado las respuestas anteriormente descritas a su material genético a lo largo de la evolución y se encuentran totalmente adaptados genéticamente a la altitud.

## Hipoxia hipobárica intermitente

Una de las técnicas utilizadas para producir los efectos de la aclimatación en personas que no viven en altitud, es el que se conoce como hipoxia hipobárica intermitente (IHH, del inglés Intermittent Hypobaric Hypoxia). Esta técnica se ha utilizado históricamente para mejorar la condición física y para tratar varias enfermedades, sobre todo en países que formaban parte de la Unión Soviética, y consiste en realizar unas cuantas sesiones durante varios días en las cuales el individuo se expone a condiciones de hipoxia en una cámara hipobárica.

Uno de los estudios realizados por el grupo del Dr. Viscor en el año 2000 consistía en encontrar un protocolo de IHH capaz de producir los efectos de la aclimatación con el mínimo tiempo de exposición a la hipoxia posible, para no interferir demasiado con la actividad diaria de las personas que quieren obtener los efectos de la aclimatación. Para hacer ésto, diseñaron tres protocolos de IHH de distintas duraciones. En el primero de ellos (protocolo A) se estudiaron 6 individuos que se sometieron a 17 sesiones de hipoxia en la cámara de entre 3 y 5 horas, durante 17 días. En el segundo



*Figura 1. Cámara hipobárica del Servei de Hipobària INEFC-UB, donde el grupo del Dr. Viscor realiza buena parte de sus investigaciones.*

protocolo (protocolo B), los individuos estudiados se sometieron a 9 sesiones también de entre 3 y 5 horas, durante 9 días; y finalmente en el tercer protocolo (protocolo C), se estudiaron 8 personas que se sometieron a 9 sesiones de 90 minutos a lo largo de 21 días. Este estudio se realizó con individuos sanos en la cámara hipobárica del Servei d'Hipobària INEFC-UB.

Los resultados obtenidos con el estudio mostraban un incremento en el número de glóbulos rojos, del hematocrito y de la concentración de hemoglobina con los tres protocolos, y además, no se observó un aumento significativo de la viscosidad sanguínea, como se podría esperar teniendo en cuenta que había aumentado el número de eritrocitos. Comparando los diferentes protocolos entre ellos, se vio que los resultados habían sido bastante similares, excepto en el número de glóbulos rojos, que era superior en los individuos del protocolo B. En cuanto al objetivo principal del estudio, el protocolo B resultó ser el más eficiente, puesto que fue el que consiguió los mejores resultados en relación con los días de duración del estudio (sólo 9), mientras que el protocolo C fue el que necesitó menos horas de exposición para obtener buenos resultados. Sin embargo, en términos absolutos, los mejores resultados los obtuvo el protocolo A, con el cual se consiguieron unos niveles hematológicos altos y estables. Así pues, se obtuvieron tres protocolos de características diferentes y efectivos, de forma que, dependiendo de la disponibilidad del individuo y de sus necesidades, podría usar uno u otro.

## ¿Trabajar con o sin oxígeno?

Los efectos que puede producir la hipoxia en el rendimiento deportivo han sido ampliamente estudiados en los últimos 50 años. El origen de estas investigaciones fue la designación de Ciudad de México como ciudad organizadora de los Juegos Olímpicos de verano de 1968. La capital mexicana se encuentra en 2300 metros sobre el nivel del mar, y esto generó una serie de dudas sobre cómo afectaría este hecho al rendimiento deportivo. De hecho, algunos médicos deportivos se quejaron de esta designación, puesto que afirmaban que los atletas de países a baja altitud estarían en desventaja.

Los resultados de aquellos Juegos Olímpicos fueron sorprendentes. Por un lado, los atletas participantes en pruebas cortas consiguieron grandes marcas y superaron varios récords mundiales, y por otro lado, los atletas especializados en pruebas de fondos sufrieron las consecuencias de competir en altitud y obtuvieron malos resultados. Después de esto, se investigó fervorosamente los efectos producidos por el entrenamiento en altitud. Actualmente, la técnica que se considera más efectiva para mejorar el rendimiento deportivo es vivir en altitud y entrenar al nivel del mar, pero, por razones prácticas, no sería una técnica ideal. Por este motivo se han creado varios sistemas de hipoxia artificial para ayudar a mejorar el rendimiento deportivo de los deportistas de élite.



*Figura 2. La atleta Colette Besson llegando a la meta en la prueba de los 400 metros lisos de los Juegos Olímpicos de verano de 1968, donde ganó la medalla de oro. En estos Juegos disputados en México, se hicieron muy buenas marcas en pruebas como ésta, mientras que en las pruebas de fondo las marcas fueron malas.*

En fisiología deportiva se diferencia entre dos tipos de metabolismo de las fibras musculares, el metabolismo aeróbico y el metabolismo anaeróbico. El metabolismo aeróbico utiliza glucosa y ácidos grasos como fuente de energía, y depende principalmente de la disponibilidad de oxígeno en el músculo. En cuanto al metabolismo anaeróbico, se diferencia en dos tipos: el metabolismo anaeróbico aláctico y el láctico. El metabolismo anaeróbico aláctico es el que predomina en las etapas iniciales del ejercicio, en las cuales se utilizan fosfágenos (sustancias fosforiladas de elevado nivel energético) presentes en el músculo como fuente de energía. Estos fosfágenos son escasos, de forma que si el ejercicio intenso continúa, se agotan. El metabolismo

anaeróbico láctico utiliza básicamente glucosa como fuente de energía y aparece cuando la demanda de oxígeno por parte de los músculos es superior a la capacidad de suministrarles oxígeno. Este tipo de metabolismo tiene un rendimiento energético pequeño, porque consume mucho combustible y, además, provoca una acumulación de ácido láctico en el músculo, que a medida que va pasando el tiempo producen la condición de fatiga.

Metabólicamente se puede distinguir entre dos tipos de esfuerzo: el de potencia y el de resistencia. En el de potencia predomina el metabolismo anaeróbico, puesto que presenta una gran demanda energética por parte de los músculos y la capacidad de suministrar oxígeno no es bastante alta. Por otro lado, el de resistencia presenta una predominancia del metabolismo aeróbico porque la demanda energética no es tan elevada y, además, el aumento de la frecuencia cardíaca y de la frecuencia respiratoria permite satisfacer las altas demandas de oxígeno.

Todo esto explicaría los resultados que se observaron en las pruebas de atletismo de los Juegos Olímpicos de verano celebrados en México. Por un lado, en las pruebas de fondo se obtuvieron malos resultados, puesto que la cantidad de oxígeno en el aire era menor debido a una menor presión atmosférica causada por la altitud, de forma que utilizaron el metabolismo anaeróbico más del normal, provocando una mayor acumulación de ácido láctico de lo normal y aumentando la sensación de fatiga. Por otro lado, los atletas participantes en pruebas cortas obtuvieron grandes marcas, puesto que en aquella altitud el aire es menos denso y ofrece menos resistencia, y la gravedad también es un poco menor que a nivel del mar. Además, puesto que en estas pruebas domina el metabolismo anaeróbico, el hecho de que hubiera más o menos disponibilidad de oxígeno en el aire no influyó en el rendimiento de los atletas.

Así pues, hemos podido ver la importancia del metabolismo aeróbico en varias pruebas atléticas. En este sentido, el grupo del Dr. Viscor estudió en 1997 los efectos que tendría en la capacidad aeróbica al nivel del mar una exposición intermitente a un ambiente de hipoxia moderada durante un periodo de tiempo de sólo 9 días. Además, también quisieron comparar los efectos de la hipoxia hipobárica cuando se realizaba combinándola con ejercicio de baja intensidad o sin realizar ejercicio. Esta investigación se llevó a cabo también en la cámara hipobárica del Servei de Hipobària INEFC-UB con un grupo de 17 miembros de 3 expediciones de alta montaña. Los sujetos de estudio se dividieron aleatoriamente en dos grupos y uno de los grupos combinó la exposición a un ambiente de hipoxia con un protocolo de ejercicio diario de entre 30 y 75 minutos de baja intensidad. Cada día se iba aumentando la altitud simulada, empezando el primer día con una altitud simulada cercana a los 4000 metros y finalizando el noveno día con una altitud simulada de 5500 metros. Además, antes de empezar y al finalizar el estudio se evaluó el rendimiento deportivo de los participantes y su estado médico.

Los resultados obtenidos no mostraron ninguna diferencia ni en cuanto al perfil hematológico ni en cuanto al rendimiento deportivo entre ambos grupos de estudio. Donde sí que vieron diferencias fue en el test de ejercicio máximo realizado. Después del programa de aclimatación en la cámara hipobárica, los participantes mostraron un aumento en el tiempo máximo de ejercicio y en la ventilación máxima pulmonar (i. e. el volumen total espirado en un minuto). Otro resultado interesante fue la observación de un desplazamiento hacia la derecha de la curva del lactato en todos los sujetos estudiados (Figura 3). Este desplazamiento implica que aumentó el umbral del lactato en todos los participantes, es decir, que hace falta una mayor intensidad de ejercicio para que se empiece a usar el metabolismo anaeróbico. Esto hace que se pueda hacer ejercicio de más intensidad sin que se acumule ácido láctico y que, por lo tanto, tarde más en aparecer la sensación de fatiga. Este aumento en el umbral del lactato explicaría el incremento en el tiempo máximo de ejercicio experimentado, causado por una menor acumulación de lactato durante el ejercicio y un aumento en la capacidad aeróbica.

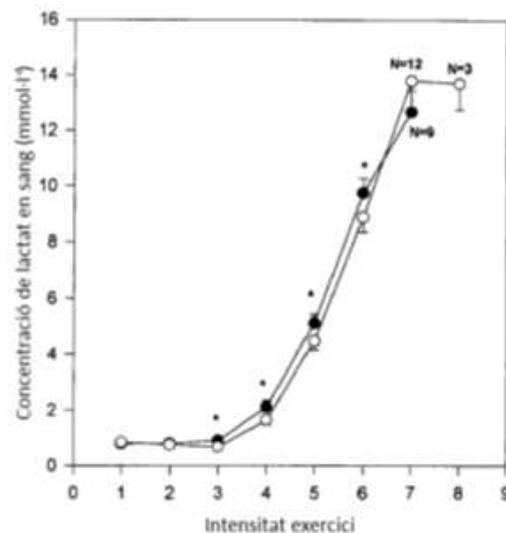


Figura 3. Curva del lactato de los participantes en la investigación del grupo antes (puntos en negro) y después (puntos en blanco) de realizar el estudio. Se puede observar un desplazamiento hacia la derecha de la curva del lactato, indicando un aumento en la capacidad aeróbica de los sujetos participantes.

También obtuvieron resultados interesantes en cuanto a los parámetros hematológicos. Por ejemplo, se observó un aumento del hematocrito, del número de glóbulos rojos, del número de reticulocitos (i.e. glóbulos rojos inmaduros) y de la concentración de hemoglobina. Todos estos cambios se asociaron a una clara mejora en la capacidad de transportar oxígeno a la sangre y demostraban que la exposición intermitente a la hipoxia, aparte de ser una técnica eficaz para aumentar el rendimiento deportivo en sujetos sanos, también estimula la eritropoyesis. De hecho, demostraron que la eritropoyesis se estimulaba igual que con otros protocolos de hipoxia donde el tiempo de exposición era más largo.

## Producción de glóbulos rojos

La síntesis de glóbulos rojos es controlada en gran parte por la eritropoyetina (EPO), una glicoproteína producida mayoritariamente en las células del tubo proximal del riñón y también en parte en el hígado. El principal regulador de la síntesis de la EPO es la disponibilidad de oxígeno tanto al riñón como al hígado. En enfermos de anemia, por ejemplo, hay una menor capacidad de la sangre de transportar oxígeno, y esta menor concentración de oxígeno en sangre estimula la producción de la EPO, que posteriormente se une a sus receptores específicos presentes en la médula ósea y produce un aumento de la síntesis de glóbulos rojos.

Hay situaciones en las cuales el mecanismo de la producción de EPO no es del todo eficiente. Por ejemplo, a veces en operaciones de cirugía se hacen autotransfusiones de sangre con sangre previamente extraída del mismo paciente antes de la operación. En estos casos hay una disminución de glóbulos rojos y, en consecuencia, una ligera anemia, pero es insuficiente como para provocar una hipoxia suficiente para producir un aumento en la síntesis de EPO. También se conocen algunos tipos de anemia asociados a ciertas enfermedades crónicas, como por ejemplo la insuficiencia renal crónica, en las cuales la secreción endógena de EPO es baja e insuficiente para hacer frente a la anemia.

El grupo llevó a cabo una investigación para tratar de determinar si una exposición de 90 minutos en un ambiente de hipoxia en la cámara hipobárica sería suficiente para provocar un aumento en la producción de EPO. Los resultados mostraron que 3 horas después de acabar la exposición se producía un pico en la concentración de EPO, y que 5 horas más tarde los niveles de EPO volvían a valores cercanos a los basales. Además, también estudiaron como afectaba la exposición cada dos días durante 3 semanas en la cámara hipobárica, y vieron un aumento del número de glóbulos rojos al final de la tercera semana, que se mantenía durante dos semanas. El mismo se observaba con la concentración de hemoglobina y en el número de reticulocitos.

Todos estos resultados sugerían que el IHH podría ser una buena técnica para hacer frente a la anemia causada por autotransfusiones de sangre realizadas durante una operación, para tratar las anemias asociadas a enfermedades crónicas y para producir una pre-aclimatación en alpinistas antes de empezar la expedición de montaña y un aumento en su rendimiento físico.

Otra investigación llevada a cabo por el grupo del Dr. Viscor tenía como objetivo determinar si el uso del IHH podría movilizar las células madre hematopoyéticas e incrementar su presencia en la circulación sanguínea.

Las células madre son un tipo de células no diferenciadas que tienen la capacidad de diferenciarse en otros tipos celulares. En algunas enfermedades, como por ejemplo en infartos de miocardio, se ha observado que hay un aumento en el número de células madre. Este incremento también se observa cuando se deja de fumar, durante la menstruación o después de 12 semanas de ejercicio. Varios estudios conducidos por otros grupos de investigación han

mostrado que existe una relación entre las concentraciones elevadas de células madre y la mejora clínica de los pacientes. Además, en otros estudios se ha visto un aumento de las células madre hematopoyéticas inducido por la EPO.

En la investigación del grupo, se realizaron tres protocolos diferentes con los sujetos del estudio. En el primer protocolo recibían sólo estímulos hipóxicos, en el segundo recibían estímulos hipóxicos y electroestimulación muscular, y en el tercero sólo se les aplicaba el electroestimulación muscular. El estímulo hipóxico consistía en una exposición de 3 horas durante tres días consecutivos en la cámara hipobárica.

Los resultados mostraron que el porcentaje de células madre hematopoyéticas había aumentado de manera significativa sólo cuando se combinaba la electroestimulación muscular con la exposición en la cámara hipobárica. Este aumento seguía siendo visible 7 días después de la exposición al ambiente de hipoxia sin que pareciera que se había llegado a un máximo. En el protocolo con el cual los sujetos del estudio sólo recibían estímulos hipóxicos no se observó el mismo aumento, pero probablemente esto se debe al hecho que el tiempo de exposición fue muy corto y no fue suficiente para causar un aumento significativo en el número de células madre hematopoyéticas. Hay que destacar también que el hecho de que los mejores resultados se obtuvieran con una electroestimulación mientras se estaba expuesto a un ambiente de hipoxia tiene una serie de puntos positivos, y es que la electroestimulación muscular es fácil de medir y reproducir y se puede aplicar a la gran mayoría de personas, incluso a aquellas que tienen limitaciones físicas para realizar ejercicio.

El uso de la cámara hipobárica y de técnicas como la IHH puede ser muy útil para la sociedad. Por un lado pueden ser útiles de cara a tratar ciertas enfermedades y a mejorar su pronóstico, y por otro lado pueden ayudar a producir un efecto de aclimatación a la altitud a pesar de estar a nivel del mar, hecho que es útil no sólo a nivel lúdico para los alpinistas, sino que también es útil por ejemplo para equipos de rescate que tienen que estar preparados para actuar en altitud en cualquier momento. En este sentido pues, encontramos en la Facultad de Biología un grupo de investigación con una amplia trayectoria que intenta cada día aportar algo más de luz a las dudas que todavía existen en este ámbito.

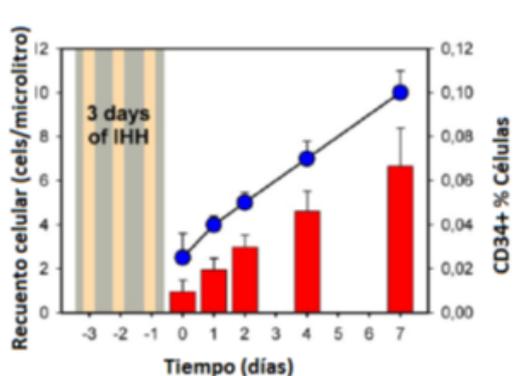


Figura 4. Recuento celular del número de células madre hematopoyéticas a lo largo del tiempo. Se puede observar un incremento en su concentración hasta 7 días después de ser sometido a IHH.

## Entrevista a la Dra. Teresa Pagès



Apasionada desde siempre por la biología, empezó de muy joven a coleccionar plantas, insectos, guardar reptiles en formol, etc. Empezó su tarea de investigación estudiando las tortugas y finalmente se decantó por aportar sus conocimientos al ámbito de las respuestas cardiorespiratorias en hipoxia. Ha compaginado siempre su tarea de investigadora con la de docente, primero en un instituto de bachillerato y finalmente en la Universidad de Barcelona, donde todavía ejerce de profesora mientras hace investigación dentro del grupo del Dr. Viscor.

### **Ignasi Junyent: ¿Por qué estudió Biología?**

Teresa Pagès: Desde siempre me había gustado. Nunca dudé que quería estudiar Biología. Me gustaban todos los campos ligados a la Biología. Desde jovencita hacía colecciones de plantas, insectos, salía a observar pájaros, guardaba en formol cualquier reptil o anfibio que me encontraba, hacía cría de saltamontes, me gustaba observar preparaciones en el microscopio, etc. El tiempo en las clases de ciencias naturales de bachillerato me pasaba volando escuchando las explicaciones de mi profesora. Todo esto demuestra que si tenía que estudiar algo, era biología.

### **IJ: ¿Cómo empezó a trabajar en este grupo?**

TP: Después de terminar la tesis doctoral me replanteé cambiar de línea de trabajo, puesto que el tema que había estudiado hasta entonces (regulación térmica y respuestas ventilatorias en tortugas) no era puntero y era difícil conseguir financiación. Creí que podía aportar mis conocimientos en otro ámbito, como era la adaptación a la altitud y las respuestas cardiorespiratorias a la hipoxia.

### **IJ: ¿Hay mucha competitividad con otros grupos?**

TP: No hay demasiada competitividad en este tema, puesto que la infraestructura que tenemos es única en el Estado y en Europa sólo hay otro y es privada: es la cámara hipobárica que permite hacer aclimataciones a la altitud hasta 6000 metros. Se trata de un sistema que permite reproducir las condiciones de hipoxia hipobárica que se producen con la altura. Algunos de los estudios se pueden hacer utilizando sistemas hipóxicos (mezcla de gases), pero las condiciones de simulación son bastante diferentes de las que hay en la montaña.

### **IJ: ¿Colaboráis con otros grupos de fuera de la UB?**

TP: Sí, colaboramos con investigadores de la Universidad de Oporto y con universidades chilenas, sobre todo de Antofagasta. Lideramos una red iberoamericana de medicina y fisiología de altura (ALTMEDFIS) del programa CYTED (Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo) desde el 2012, en el que hay implicados 15 grupos de 15 universidades españolas e iberoamericanas, y 112 investigadores.

### **IJ: Actualmente, ¿en qué línea de investigación está trabajando?**

TP: El nombre del último proyecto es: Efecto sinérgico del frío y la hipoxia en la reparación del daño muscular inducido en ratas de laboratorio. Forma parte de un proyecto coordinado con un grupo de investigadores del IDIBELL, donde tenemos la cámara hipobárica.

**IJ: ¿Qué aplicación cree que puede tener vuestra investigación en la sociedad?**

TP: Puede ayudar a reparar y a prevenir los daños musculares provocados por el ejercicio en deportistas y en patologías o traumatismos.

**IJ: ¿Cree que la sociedad está plenamente concienciada con los temas en que trabaja?**

TP: No, no está concienciada y, de hecho, creo que la sociedad no sabe muy bien que se está haciendo en la universidad. Creo que no sabemos o no nos preocupamos en explicar qué hacemos y por qué lo hacemos.

**IJ: ¿Considera que la financiación que recibe el grupo es suficiente para la investigación?**

TP: Vamos tirando. Ha habido años en que las ayudas han sido muy escasas y hemos tenido que sobrevivir como hemos podido para no tener que cerrar la línea. En este momento, estamos esperando la resolución de la última convocatoria del Ministerio. Esperamos conseguirla porque, si no, peligra el poder terminar las tesis que están en marcha.

**IJ: ¿Qué es lo que más le gusta de hacer investigación?**

TP: La sensación de poder trabajar en cosas que te gustan, programarte el trabajo y la incógnita que representa el no saber qué encontrarás y, sobre todo, el hecho de poder colaborar con gente de todo el mundo que tiene las mismas inquietudes que nosotros.

**IJ: ¿Cómo cree que se podría mejorar la investigación?**

TP: Con más medios y colaboraciones entre grupos, haciendo rendimiento de cuentas de cómo se utilizan los recursos y, sobre todo, haciendo difusión para que la sociedad se entere de lo que se hace y por qué se hace.

**IJ: ¿Cómo es un día normal para usted en la universidad?**

TP: Es un no parar, puesto que la mayoría de profesores seniors tenemos que compaginar la investigación y la docencia. A pesar de que intentamos hacerlo todo, y a ser posible bien, se tiene que priorizar y decidir en cada momento en qué ámbito tienes que o puedes dedicar más tiempo.

**IJ: ¿Es complicado pues compaginar el trabajo como investigadora con la docencia?**

TP: Es complicado y costoso porque faltan horas que se tienen que sacar de la vida personal. No es bueno esto. Hay momentos en los que se tiene que decir basta y hacer otras actividades fuera del trabajo, si no, puedes caer en el aislamiento y perder incluso la relación con amigos y familia.

**IJ: ¿Alguna vez ha ido a hacer investigación en el extranjero?**

TP: No, cuando empecé mi carrera en la universidad no había muchas ayudas y las posibilidades de irse eran muy escasas. Además, compaginaba mi tesis doctoral y los primeros trabajos en la universidad con un trabajo fuera, puesto que lo que me daban no me permitía mantenerme. Con estas condiciones era prácticamente imposible hacer una estancia fuera. Más adelante, eran los vínculos familiares quienes ya no me lo permitían. Sí que he hecho estancias cortas y puntuales, sobre todo ligadas con los proyectos, con los grupos con los cuales hemos colaborado o estamos colaborando.

**IJ: ¿Qué expectativas de futuro tenía cuando empezó a dedicarse a la investigación?**

TP: Las expectativas de obtener una plaza eran muy poco claras, puesto que no salía casi ninguna, pero sí que tenía claro mi objetivo, que era hacer carrera en la universidad fuera como fuera. Para poder continuar en la universidad, que es lo que quería, haciendo la tesina primero y la tesis después, compaginé la investigación con la docencia como profesora de bachillerato en institutos de secundaria. Durante ese tiempo conseguí aprobar las oposiciones

de agregado de instituto y esto me dio tranquilidad para poder continuar con mi tesis. Cuando la terminé, salió una plaza de ayudante en mi departamento y pude pedir la excedencia para incorporarme por fin en la universidad y continuar la carrera aquí, hasta que conseguí una plaza de titular.

**IJ: ¿Cree que los esfuerzos hechos hasta ahora se han visto recompensados?**

TP: Sí, mucho. He conseguido lo que quería hacer desde siempre. Han valido la pena los esfuerzos hechos y la dedicación de muchas horas de trabajo para llegar donde estoy ahora. No lo cambiaría por nada. Todas las vivencias han sido buenas e incluso los malos momentos pasados, con el tiempo, se recuerdan como anécdotas que han ayudado a formarte el carácter.

## Entrevista al doctorando Juan Gabriel Ríos Kristjánsson



Licenciado en bioquímica en la Universidad de Islandia, supo desde siempre que quería estudiar fisiología. Realizó dos másters en la Universidad de Barcelona, donde en uno de ellos pudo conocer al Dr. Viscor, quien le dio la oportunidad de realizar el doctorado en su grupo de investigación. Recibir la beca FPI le ha ayudado a poder hacer el doctorado, a pesar de que la ayuda financiera que recibe no es suficiente para tener un salario digno. Es un incansable trabajador para el grupo, actualmente dirige tres frentes de estudio a la vez, es el representante de los estudiantes de doctorado de la línea de fisiología de la Escuela de Doctorado de la UB y a lo largo de la entrevista aporta una visión interesante sobre muchos aspectos del ámbito de la investigación.

### **Ignasi Junyent: ¿Qué has estudiado y por qué?**

Juan Gabriel Ríos: Estudié bioquímica en la Universidad de Islandia. Siempre supe que quería estudiar fisiología y sentía que los cursos relacionados con la bioquímica me proporcionarían una mejor preparación básica que luego podría enfocar más hacia la fisiología. También he hecho dos másters de la Universidad de Barcelona, uno en Fisiología Integrativa y otro en Química Avanzada: Química Analítica. Por otra parte, junto con mis estudios de doctorado, estoy cursando un MBA de la Universidad de Liverpool a través del programa Laureate y recientemente empecé un máster propio de la UB, el Máster en Docencia Universitaria para el Profesorado Novel.

### **IJ: ¿Cuándo y por qué decidiste hacer un doctorado?**

JGR: Cuando empecé a estudiar a nivel universitario, supe que iba a hacer un doctorado. No sabía cómo ni dónde, pero, después de haber estudiado durante varios años y también después de hacer el entrenamiento de laboratorio y trabajar profesionalmente como bioquímico, la idea de hacer un doctorado se reforzó en mi mente y supe que quería obtener el máximo grado académico.

### **IJ: ¿Qué camino seguiste hasta llegar a trabajar en el grupo del Dr. Viscor?**

JGR: Para entrar en el programa de doctorado en el Departamento de Fisiología uno tiene que terminar el Máster oficial en Fisiología Integrativa. A través de ese programa llegué a conocer al Dr. Viscor, que fue el tutor de mi tesina de máster. Después de tenerlo acabado no estaba seguro de cuál sería mi siguiente paso, porque la financiación de los estudios siempre es un factor importante para decidir si seguir estudiando. Me inscribí al programa de máster oficial del Departamento de Química Analítica, pero después el Dr. Viscor me propuso la posibilidad de hacer el doctorado bajo su dirección recibiendo la beca FPI. De esta manera inicié el doctorado y desde marzo/abril de 2012 soy representante de los estudiantes de doctorado de la línea de fisiología en la Escuela de Doctorado de la UB.

### **IJ: ¿Cuál es tu rol en el grupo?**

JGR: Mi papel es bastante multifuncional. Me ocupo de la ejecución y supervisión diaria de las tareas relacionadas con el proyecto nacional, con el cual está vinculada mi beca FPI. Diseño y superviso los procedimientos de mantenimiento interno de nuestros instrumentos y para el laboratorio en general. Me aseguro de que todos los nuevos estudiantes se incorporen conociendo adecuadamente los protocolos y procedimientos y también de que los estudiantes

de Erasmus tengan un plan general a seguir. Además, superviso nuestra red social-profesional del laboratorio, la plataforma digital (en la nube) y nuestras bases de datos.

**IJ: ¿Actualmente, en qué línea de investigación estás trabajando?**

JGR: Trabajo en dos líneas, una que involucra el proyecto nacional mencionado anteriormente, que es sobre el efecto de la hipoxia intermitente y el ejercicio ligero en ratas entrenadas después de sufrir daño muscular inducido. Mi análisis se centra en la cuantificación de los marcadores plasmáticos del daño y en los niveles de expresión genética en relación con los diferentes tratamientos experimentales de recuperación. En la otra línea trabajo en perfilar la oxigenación de los músculos esqueléticos en distintos tipos de actividades, con espectrometría de infrarrojo cercano en tiempo real.

**IJ: ¿Cree que la sociedad tiene suficiente conocimiento sobre los temas en que trabaja?**

JGR: Estoy seguro de que no hay mucha conciencia entre el público general y, normalmente, sólo los resultados que aparentan ser un gran avance interesan en los medios de comunicación. De todas formas, creo que deben ser medios especializados los que se encarguen de dicha divulgación, pues de lo contrario, podría haber gran cantidad de información mal entendida o mal interpretada e informes demasiado simplificados.

**IJ: ¿Y crees que se valora suficientemente el trabajo de un investigador?**

JGR: Cualquier persona que considere el trabajo de un estudiante de doctorado como una simple dedicación de 40 horas semanales, no entiende la situación. Realmente es como una larga carrera de selección, una continua preparación para lo que vendrá a continuación, ya sea seguir en el mundo académico, en los institutos gubernamentales, o entrar en el sector privado. La razón por la que me acerco al estudio como una carrera de fondo, es porque me parece que tiene poca lógica pensar que todo termina con la obtención de un título de doctor, creo que lo que debería ser el objetivo es lo que viene después de obtener el título. Por lo tanto, uno tiene que poner muchas horas adicionales para asegurarse de que es el mejor candidato para las futuras posibles posiciones laborales. En resumen, no creo que el trabajo esté valorado apropiadamente.

**IJ: ¿Cómo es un día de trabajo normal para ti? ¿Tienes un horario programado o te van surgiendo cada día cosas distintas?**

JGR: El Dr. Viscor crea un entorno laboral que me permite tomar el control y ser responsable de mi propio trabajo. Estoy muy de acuerdo con esta filosofía y como estudiante de doctorado constantemente aprovecho estas condiciones.

Dicho esto, empiezo no más tarde de las 9:00. Tengo mis propias tareas semanales programadas, pero pueden ser muy distintas: realizar experimentos, preparar el muestreo en términos de asegurar que haya suficiente material, personal y formularios para registrar la actividad; entrenar nuevas personas de acuerdo a nuestras normas de mantenimiento y rutinas de trabajo, analizar los datos obtenidos, mantener nuestras bases de datos, asegurar que nuestras rutinas de mantenimiento instrumental se lleven a cabo correctamente, preparar manuscritos, etc. La lista es realmente interminable. Es un trabajo continuo e inagotable, y es cuestión de dar prioridad a lo que hay que hacer en cada momento determinado. En el mundo profesional, si alguien llega al trabajo y no sabe qué hay que hacer, simplemente no entiende su entorno laboral. Hacer un doctorado no es distinto, siempre tiene como objetivo último finalizar la tesis doctoral.

**IJ: ¿Qué virtudes crees que debe tener alguien que se dedique a la investigación?**

JGR: Por una parte, creo que uno siempre tiene que ser capaz de ver todo el panorama por completo. Por otra parte, creo que la aplicación de normas de calidad dentro del entorno de investigación académico es algo necesario y en lo que se va a tener que hacer más hincapié en

el futuro próximo, ya que el sector privado y otras instituciones gubernamentales ya han dado ese paso hace un tiempo. Por lo tanto, creo que es necesario que los estudiantes tengan implementada la mentalidad de la comprensión de los requisitos de trabajar en un ambiente estandarizado y con control de calidad. Éstas son cualidades que he ido desarrollando a lo largo de mi vida académica.

**IJ: ¿Cree que es importante para un investigador trabajar fuera de su país?**

JGR: Creo que es absolutamente necesario. En general, siempre tengo una mentalidad abierta a la globalización, y es muy difícil para mí entender la mentalidad de alguien a quien no le gusta tener tantas puertas abiertas como sea posible y explorar diferentes posibilidades. Trabajar en el extranjero da la oportunidad de crear contactos diferentes, lo cual es necesario para cualquier profesional en desarrollo, para poder pensar cual será el siguiente paso en su vida. No significa necesariamente que uno se tenga que establecer en el extranjero, sino que hacer relaciones dará mayores oportunidades y facilidades de tener árbitros internacionales, establecer posibles colaboraciones en el futuro, etc.

**IJ: ¿Qué futuro profesional esperas tener?**

JGR: Honestamente, a pesar de que tengo muy claro lo que tengo que hacer dentro de mi estudio de doctorado, no tengo idea de lo que sucederá una vez finalizado. Creo que voy a hacer lo que más me beneficie económicamente. No creo que vaya a cerrar la puerta por completo a la investigación, porque me interesa, pero uno se cansa de no tener un ingreso económico adecuado, algo a lo que estoy acostumbrado, ya que siempre he trabajado mientras estudiaba, desde la edad de 15 años. Pero ahora, al llevar tres frentes de estudios diferentes a la vez, y con mi beca FPI, no puedo tener un trabajo regular. Además, el siguiente paso debe tener un nivel de ingresos que nos permita funcionar a mi pareja y a mí.

**IJ: ¿Crees que los esfuerzos realizados hasta el momento se han visto recompensados?**

JGR: Esta pregunta tiene dos vertientes. Por un lado, trabajé dos tercios de un año sin una ayuda financiera, de modo que me di cuenta de que soy muy afortunado y estoy agradecido por haber recibido la beca FPI para estudiar. Pero, a pesar de que técnicamente se trata de ayuda financiera, en realidad, no supone un salario adecuado. Creo que ganaría más sueldo en un centro de llamadas. Por lo tanto, al responder a esta pregunta, no puedo ignorar este hecho evidente. Pero por otro lado, en términos de carrera profesional, mis esfuerzos han sido recompensados hasta el momento por el reconocimiento por parte del Dr. Viscor, quien me ha dado oportunidades y me ha permitido desarrollar con su apoyo algo que considero con el máximo aprecio.

## Bibliografía

- F A Rodríguez, H Casas, M Casas, T Pagés, R Rama, A Ricart, J L Ventura, J Ibáñez, G Viscor (1999) Intermittent hypobaric hypoxia stimulates erythropoiesis and improves aerobic capacity. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 31: 2. 264-268.
- A Ricart, H Casas, M Casas, T Pagés, L Palacios, R Rama, F A Rodríguez, G Viscor, J L Ventura (2000) Acclimatization near home? Early respiratory changes after short-term intermittent exposure to simulated altitude. *Wilderness and Environmental Medicine* 11: 2. 84-88.
- F A Rodríguez, J L Ventura, M Casas, H Casas, T Pagés, R Rama, A Ricart, L Palacios, G Viscor (2000) Erythropoietin acute reaction and haematological adaptations to short, intermittent hypobaric hypoxia. *European Journal of Applied Physiology* 82: 3. 170-177.
- M Casas, H Casas, T Pagés, R Rama, A Ricart, J L Ventura, J Ibáñez, F A Rodríguez, G Viscor (2000) Intermittent hypobaric hypoxia induces altitude acclimation and improves the lactate threshold. *Aviation Space and Environmental Medicine* 71: 2. 125-130.
- Héctor Casas, Mireia Casas, Antoni Ricart, Ramón Rama, Jordi Ibáñez, Luis Palacios, Ferran A Rodríguez, Josep L Ventura, Ginés Viscor, Teresa Pagés (2000) Effectiveness of Three Short Intermittent Hypobaric Hypoxia Protocols: Hematological Responses *Journal of Exercise Physiology online* 3: 2. 38-45.
- Pere Panisello, Joan Ramon Torrella, Teresa Pagés, Ginés Viscor (2007) Capillary supply and fiber morphometry in rat myocardium after intermittent exposure to hypobaric hypoxia. *High Altitude Medicine and Biology* 8: 4. 322-330.
- Pere Panisello, Joan Ramon Torrella, Santiago Esteva, Teresa Pagés, Ginés Viscor (2008) Capillary supply, fibre types and fibre morphometry in rat tibialis anterior and diaphragm muscles after intermittent exposure to hypobaric hypoxia. *European Journal of Applied Physiology* 103: 2. 203-213.
- Santiago Esteva, Pere Panisello, Joan Ramon Torrella, Teresa Pagés, Ginés Viscor (2009) Blood rheology adjustments in rats after a program of intermittent exposure to hypobaric hypoxia. *High Altitude Medicine and Biology* 10: 3. 275-281.
- Santi Esteva, Pere Panisello, Joan Ramon Torrella, Teresa Pagès, Gines Viscor (2009) Enzyme activity and myoglobin concentration in rat myocardium and skeletal muscles after passive intermittent simulated altitude exposure. *Journal of Sports Sciences* 27: 6. 633-640.
- Ginés Viscor, Casimiro Javierre, Teresa Pagès, Josep-Lluis Ventura, Antoni Ricart, Gregorio Martin-Henao, Carmen Azqueta, Ramon Segura (2009) Combined intermittent hypoxia and surface muscle electrostimulation as a method to increase peripheral blood progenitor cell concentration. *Journal of Translational Medicine* 7: 1. 10.
- Núñez-Espinosa C, Douziech A, Ríos-Kristjánsson JG, Rizo D, Torrella JR, Pagès T, Viscor G. (2014) Effect of intermittent hypoxia and exercise on blood rheology and oxygen transport in trained rats. *Respiratory Physiology & Neurobiology*. 1;192:112-7.
- Viscor G, Javierre C, Pagès T, Ventura JL, Ricart A, Martin-Henao G, Azqueta C, Segura R. (2009) Combined intermittent hypoxia and surface muscle electrostimulation as a method to increase peripheral blood progenitor cell concentration. *Journal of translational medicine* 29;7:91.

- Viscor G., Pagès T. (2006) Mal de muntanya i aclimatació a l'altitud: un exemple de resposta adaptativa integrada. *Omnis cellula*. 11:7-13.
- López Chicharro J., Fernández Vaquero A. *Fisiología del ejercicio*. 3ª ed. Madrid: Editorial Médica Panamericana S.A., 2001.
- Platonov V. N. *Teoría general del entrenamiento deportivo olímpico*. 1ª ed. Barcelona: Editorial Paidotribo, 2001.