

# Evidencia temprana de alteración funcional por exposición respiratoria: minería artesanal del carbón en Paipa, Colombia

## Early evidence of functional impairment due to respiratory exposure: coal mining in Paipa, Colombia

Juan M. Ospina D<sup>1</sup>; Nubia M. González J<sup>2</sup>; Leidy J. Fernández C<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Magíster en Epidemiología, profesor Asociado Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, investigador Grupo Hygea. Universidad de Boyacá, Tunja. Correo electrónico: juan.ospina@uptc.edu.co.

<sup>2</sup> Especialista en Gerencia Instituciones de Salud, profesora asociada Facultad de Ciencias de la Salud, investigadora grupo Oxigenar, Universidad de Boyacá, Tunja. Correo electrónico: nubia.gonzalez@uniboyaca.edu.co.

<sup>3</sup> Investigador Grupo Oxigenar, Facultad de Ciencias de la Salud. Universidad de Boyacá, Tunja. Correo electrónico: leidyfernandez85@hotmail.com.

Recibido: 12 de Junio de 2011. Aprobado: 31 de octubre de 2011.

---

Ospina JM, González NM, Fernández LJ. Evidencia temprana de alteración funcional por exposición respiratoria: minería artesanal del carbón en Paipa, Colombia. Rev. Fac. Nac. Salud Pública 2011; 29(4): 445-453

---

### Resumen

**Objetivo:** evaluar los patrones de concentración arterial de oxígeno, tolerancia al ejercicio moderado y algunas variables vitales, durante la prueba de caminata de 6 minutos (PC6M), en una muestra de trabajadores asintomáticos, de la minería artesanal del carbón. **Metodología:** estudio observacional, prospectivo. Se evaluó la distancia recorrida durante la prueba de caminata de 6 minutos, porcentajes de saturación arterial de oxígeno (SPO<sub>2</sub>), frecuencia cardiaca, percepción de disnea y presión arterial en una muestra de 72 trabajadores. Se analizó el comportamiento temporal de las variables incluidas, mediante la estimación de promedios y porcentajes con sus correspondientes intervalos de confianza del 95%. Las pruebas de Hipótesis se contrastaron mediante pruebas T de Student y Chi Cuadrado. **Resultados:** media de SAO<sub>2</sub> basal 94,3% (SD=1,86); media final de la SAO<sub>2</sub> 92,27% (SD =2,03). Se encontró un patrón atípico de desaturación

arterial de oxígeno que ocurre al inicio de la caminata y se mantiene hasta el final, asociado con la edad, el tiempo de exposición laboral y el ambiente de trabajo subterráneo. No se apreciaron cambios significativos en la presión arterial. **Conclusiones:** Patrón atípico de desaturación arterial que sugiere el desarrollo incipiente de enfermedad pulmonar de tipo restrictivo, asociada a la edad y al tiempo de exposición laboral. La prueba de caminata de seis minutos puede ser una metodología diagnóstica muy apropiada en el seguimiento y control de la enfermedad respiratoria de origen laboral, sobre todo si se complementa con las pruebas de función respiratoria convencionales. Se precisa establecer y aplicar reglamentaciones adecuadas de higiene laboral en el ambiente de las minas de carbón.

-----**Palabras clave:** presión arterial de oxígeno, mineros del carbón, neumoconiosis, test de caminata de 6 minutos.

### Abstract

**Objective:** to assess the arterial concentration patterns of oxygen, the tolerance to moderate exertion, and some vital variables in a sample of asymptomatic coal workers during the six minute walking test (6MWT). **Methodology:** an observational, prospective study measuring the following variables in a

sample of 72 coal workers: the walked distance during the 6 minutes walking test, oxygen arterial saturation levels (SPO<sub>2</sub>), cardiac frequency, dyspnea perception, and arterial pressure. Temporal performance of the included variables was assessed using an estimation of averages and percentages with their

corresponding confidence intervals at 95%. Hypothesis tests were contrasted using Student's t and Chi square tests. **Results:** the Basal  $SAO_2$  mean was 94.3% (SD=1.86); the  $SAO_2$  mean at the end of test was 92.27% (SD=2.03). An atypical pattern of arterial desaturation of oxygen was found. Such pattern appears at the start of the walking test and remains for the 6 minutes. This was associated with age, the time they spent working, and the underground working environment. No significant changes in arterial pressure levels were found. **Conclusions:** there was an atypical pattern of arterial desaturation of oxygen that suggests

the presence of restrictive lung disease at an early stage of its development. This pattern is associated with the time subjects spent working and their ages. The 6 minute walking test may be a very appropriate diagnostic methodology for assessing and controlling work-related respiratory disease; especially when it is supported by the conventional respiratory function tests. It is necessary to develop and implement appropriate regulations regarding labor hygiene in coal mines.

-----**Keywords:** oxygen arterial pressure, coal workers, pneumoconiosis, six minute walking test.

## Introducción

Pese a los innegables avances en los procesos de prevención de los riesgos laborales, aún se reconoce que la minería artesanal del carbón constituye una ocupación de alto riesgo, tanto para eventos agudos traumáticos, como para la ocurrencia de enfermedades ocupacionales crónicas, de las cuales la neumoconiosis es la más reconocida.

Se ha podido demostrar que la exposición ocupacional de los mineros se asocia con hipoxemia y alteración de la función respiratoria, particularmente en trabajadores con edades superiores a los cuarenta años o períodos de trabajo superiores a los tres años [1].

El sector de la minería artesanal es uno de los más desamparados del país en materia de salud ocupacional. Las condiciones de explotación, signadas por la marginalidad económica y social, remuneración a destajo, consistente en el pago por producido o tonelada cargada, uso de tecnología precaria e inestabilidad laboral, impiden condiciones laborales y ambientales que garanticen la protección integral de la salud de los trabajadores [2].

Pese a que las tecnologías de trabajo en las minas de carbón han registrado en los últimos años, notables desarrollos que contribuyen a prevenir las exposiciones a las que se someten los trabajadores, aún se registran situaciones particulares de los yacimientos, a veces formados por capas estrechas, con intercalamiento de niveles rocosos, altos porcentajes de sílice libre, y que son explotadas aún con técnicas artesanales, en las que prima el esfuerzo manual, características que implican dificultades para la eliminación, control del polvo y de las partículas suspendidas en el aire, lo que se traduce en frecuencias mayores de compromiso pulmonar tipo neumoconiosis. Las condiciones de la minería artesanal que se desarrolla en ambientes socioeconómicos de marginalidad económica y social, remuneración inadecuada y a destajo, tecnología precaria e inestabilidad laboral, hacen muy difícil la toma de conciencia sobre la necesidad de protección laboral.

La exposición ocupacional al polvo en las minas de carbón, eventualmente lleva a fibrosis pulmonar masi-

va; no obstante, la observación clínica de los pacientes con neumoconiosis de los mineros del carbón, parecería indicar que la disfunción de la vía aérea puede ser una característica predominante en el desarrollo inicial de la enfermedad. La capacidad respiratoria forzada se conserva con buenos registros, incluso en trabajadores con neumoconiosis en niveles avanzados de la enfermedad [3]. Estos hallazgos sugieren que el proceso de la historia natural de la enfermedad involucra en el tiempo mecanismos de adaptación cardiaca y respiratoria, que se constituyen en expresiones de autoajuste fisiológico, fruto del entrenamiento que implica el desarrollo continuado de las tareas propias de la minería artesanal en sus diferentes reparticiones (piquero, cochero, malacatero, paleador). Por estas razones, consideramos conveniente explorar las manifestaciones funcionales respiratorias en trabajadores asintomáticos, asumiendo como hipótesis de investigación, la posibilidad de detectar tempranamente alteraciones funcionales que puedan constituir evidencia precoz del desarrollo de la enfermedad.

La disnea secundaria a la práctica de actividad física es uno de los síntomas capitales en los pacientes aquejados de diversas formas de enfermedad respiratoria crónica, presente incluso en las fases iniciales, la cual puede afectar el desarrollo de las actividades rutinarias de la persona y la calidad de vida. La tolerancia al ejercicio en estos pacientes constituye un indicador pronóstico del riesgo, independiente del valor del volumen espiratorio forzado en el primer segundo ( $VEF_1$ ) [4]. Se considera que la evaluación conjunta de la gravedad de la alteración ventilatoria obstructiva ( $VEF_1$ ) y limitación de la tolerancia al ejercicio, son parámetros clave en la valoración y seguimiento de los pacientes afectados con enfermedad respiratoria crónica, como podría ser el caso de la neumoconiosis de los mineros del carbón.

Existen algunas pruebas simples que permiten evaluar el grado de tolerancia al ejercicio; la estimación de la distancia recorrida durante una prueba de marcha [5], en ambiente estandarizado durante un lapso de 6 minutos (6MWD; 6 min. walking distance), en las que se ha mostrado como un confiable predictor de severidad de afectación y probabilidad de supervivencia independien-

te de otras variables [6]. Además, permite discriminar a los pacientes con una mayor tasa de ingresos hospitalarios debidos a exacerbaciones [7].

Como quiera que en la prueba de caminata de seis minutos es posible determinar la ocurrencia de desaturación de oxígeno arterial, signo inequívoco de alteración en el intercambio de gases a nivel pulmonar, esta prueba está recomendada en la valoración diagnóstica y el seguimiento de pacientes bajo sospecha de enfermedad pulmonar, que curse con alteración de la función respiratoria, ya sea de tipo obstructivo o restrictivo.

El presente estudio planteó como objetivo evaluar la distancia recorrida y tolerada en un grupo de mineros del carbón de municipio de Paipa – Boyacá, durante la prueba de caminata de seis minutos, a la vez que analizar los cambios registrados en los parámetros funcionales básicos como la frecuencia cardiaca y la saturación arterial de oxígeno durante el mismo período.

## Metodología

### Diseño

Estudio observacional prospectivo; la muestra estuvo conformada por 72 trabajadores de las minas de carbón localizadas en el municipio de Paipa (Boyacá). Todas las evaluaciones se adelantaron durante el segundo semestre de 2010.

### Ámbito

El marco general del estudio se circunscribe a los análisis de la función respiratoria en trabajadores de la minería artesanal del carbón, sujetos a períodos variables de exposición al polvo de carbón y partículas de sílice.

### Población y muestra

Se definió como población al colectivo de personas que se desempeñan en las diferentes actividades de la minería artesanal del carbón en el municipio de Paipa, tanto subterráneas como en superficie. El muestreo fue aleatorio secuencial por conveniencia y el tamaño de muestra se estimó mediante la herramienta *Statcalc* de Epi-Info; así, se asumió una prevalencia de alteración funcional respiratoria evaluada por espirometría en un estudio previo [1], con  $\alpha=0,05$ , confiabilidad del 95% y poder estadístico del 80%, el tamaño de muestra estimado ascendió a 70 sujetos.

### Fuente de datos

Se establecieron como características generales en una línea de base, la edad, el tiempo de trabajo en la minería, el índice de masa corporal (IMC), tipo de trabajo que desempeña, y las características basales de frecuencia cardiaca, saturación arterial de oxígeno, presión arterial y presencia o ausencia de disnea en reposo.

## Proceso de medición e instrumentos

Para el desarrollo de la prueba de marcha, se dispuso de un corredor absolutamente plano y perfectamente adecuado y señalizado, en el que se aisló e impidió el tránsito de personas ajenas al estudio. Para la ejecución de la caminata se buscó mantener en todo momento condiciones ambientales y de temperatura estandarizadas, en el interior de un edificio. El sentido de la marcha se delimitó con ayuda de conos de señalización y marcas de longitud cada 2 metros. Las valoraciones se realizaron utilizando el mismo pulsioxímetro Magnatek 30® y un cronómetro Kadio KD1062® debidamente calibrados, para todos los sujetos participantes. La prueba de marcha de 6 minutos fue estandarizada en 1982 [8]; se considera que en las pruebas de este tipo es la que mejor logra equilibrio valorativo entre reproducibilidad y poder discriminante. La estimación de la distancia estándar, que debía recorrer cada participante en condiciones de normalidad, se adelantó mediante el empleo de la ecuación estructurada por Paul Enright en 1998 [9]. El desarrollo de las pruebas se adelantó, previo diligenciamiento del correspondiente consentimiento informado, por medio de un protocolo previamente adaptado, el cual incluía el empleo de frases de motivación como incentivo para adelantar la marcha y un mínimo de dos mediciones con un espacio intermedio de reposo para cada sujeto [10].

### Análisis de datos

La información obtenida se registró y analizó con el paquete estadístico Epi-Info 2002. Se registraron medias para las variables continuas y porcentajes para las variables discretas con sus correspondientes intervalos de confianza al 95%. Cuando se consideró conveniente hacer comparaciones de grupos, las pruebas de hipótesis se adelantaron con las pruebas t de Student y Chi cuadrado.

## Resultados

### Caracterización de la muestra

Todos los participantes eran varones, el rango de edades osciló entre 19 y 65 años con una media de 35,7 años ( $SD=11,03$ ). La distribución de frecuencias por edad se registra en la (tabla 1).

La media de IMC fue de 24,16 ( $SD=3,05$ ), con rango entre 19,3 y 36,8; el 25% de los participantes registró IMC igual o superior a 25,2. El 21,4% se encontró en condición de sobrepeso y 4.3% de obesidad.

El tiempo promedio de trabajo en la minería artesanal fue de 12,66 años ( $SD=10,26$ ); por rangos de edad el promedio se ajustó en 8,03 años para los menores de 35 ( $SD=4,8$ ) y 21,47 para los mayores de 35 ( $SD=12,05$ ).

**Tabla 1.** Distribución de la muestra de mineros por edad. Paipa, 2010

Edad	Frecuencia	Porcentaje
19 a 25	10	13,90%
26 a 30	17	23,60%
31 a 35	17	23,60%
36 a 40	10	13,90%
41 a 45	3	4,20%
46 a 50	5	6,90%
51 a 55	5	6,90%
56 a 65	5	6,90%
<b>Total</b>	<b>72</b>	<b>100,00%</b>

La distancia promedio recorrida fue de 624,7 metros (SD=60,6), con diferencias marcadas según la edad, el

tiempo de trabajo en la minería y la presencia o ausencia de algún grado de disnea en condiciones basales. Se encuentra que al correlacionar el recorrido teórico esperado y la distancia real recorrida por los participantes en la prueba, se registran concordancias más favorables en los trabajadores mayores de 35 años y en los que llevan más de 10 años desempeñándose en la minería artesanal del carbón. Las relaciones entre las distancias a recorrer esperadas, acorde con la ecuación de Enright [9], y las distancias realmente recorridas se muestra en la (tabla 2), estratificadas por edad y por tiempo de trabajo en la minería. El grupo de edades comprendidas entre 46 y 55 años realizó recorridos superiores en un 11% al teórico promedio esperado. Al final de la prueba se encontró que uno de los participantes presentaba disnea puntuada como severa en la escala de 1 a 10, dos (2) presentaron disnea moderada, cuarenta y cinco (45) disnea ligera y veinticuatro (24) no presentaban disnea.

**Tabla 2.** Correlación entre las distancias esperadas y efectivamente recorridas, según edad, tiempo de trabajo y presencia de disnea basal. Mineros de Paipa, 2010.

Parámetro	Estrato	Media de recorrido esperado (sd)	Media de recorrido realizado (sd)	Diferencia	p
Edad	Hasta 35	703,0 (46,6)	634,8 (42,6)	-68,2	<0,001
	36 y más	593,7 (66,8)	608,65 (79,6)	+14,95	0,48
Tiempo de trabajo	Hasta 10 años	695,58 (46,3)	629,88 (53,3)	-61,91	<0,001
	Más de 10 años	642,7 (73,9)	616,85 (69,3)	-13	0,16
Presencia de disnea basal	Sí	660,6 (93,6)	590,0 (67,89)	-70,6	0,16
	No	660,52 (75,8)	627,8 (59,49)	-32,72	0,65

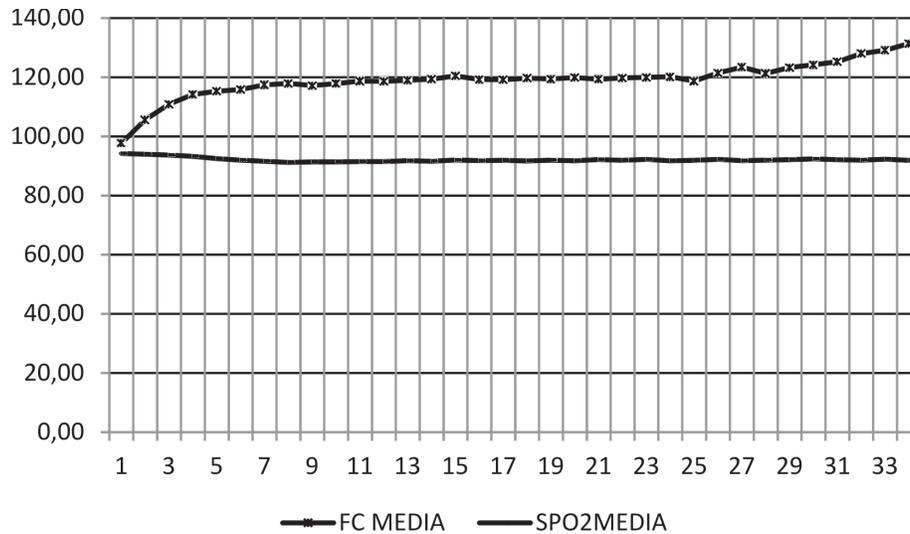
La frecuencia cardíaca promedio varió de una media basal de 76,58 (Rango 50–111; SD=12,58) hasta una media al final de la prueba de 119,68 (rango 53–150; SD=18,3). En la comparación se estimó un valor  $p < 0,001$ .

La saturación arterial de oxígeno descendió desde una media basal de 94,3% (Rango 89–98%; SD=1,86) hasta un promedio al finalizar la prueba de 92,27% (Rango 87–98%; SD=2,3). En la prueba de comparación de medias con varianzas distintas, se registró valor  $p < 0,001$ . El comportamiento temporal de la frecuencia cardíaca y la saturación arterial de oxígeno, en cada vuelta, se registra en la (figura 1).

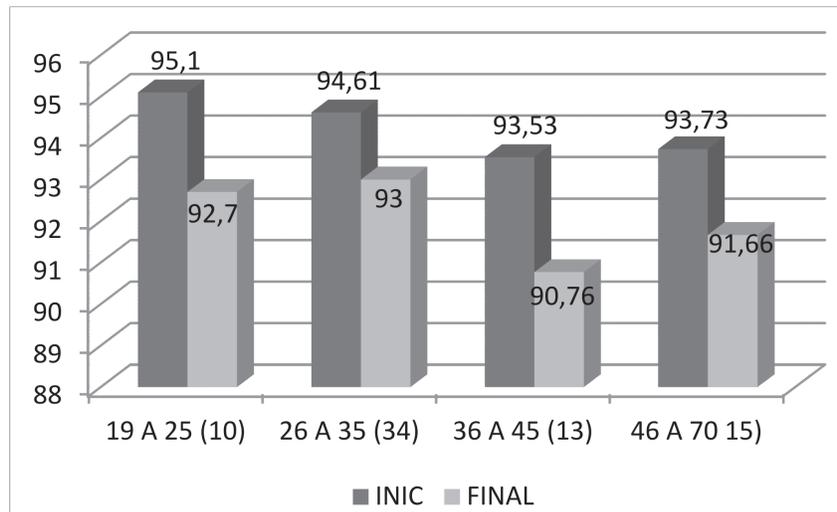
La magnitud de la desaturación arterial de Oxígeno fue más acentuada en el grupo de edad comprendido entre los 36 y los 45 años, seguida del grupo de los más jóvenes (19 a 25 años), tal como se muestra en la (figura 2). Valores bajos de SPaO<sub>2</sub> (88-90%) se encontraron en mineros con promedio de trabajo en la minería de 26,6 años, mientras que los valores más altos (95-98%) ocurrieron en quienes tenían promedio de trabajo de

9,5 años. Por edad, los valores bajos se registraron en mineros con edad promedio de 40,66 años; los valores altos de SPaO<sub>2</sub> se dieron en mineros con promedio de 32,28 años (SD=9,44). Desaturaciones iguales o superiores al 4% ocurrieron en seis (6) sujetos (9,4%), con rango de edad entre 19 y 47 años (promedio 32,7 años; SD=9,4)

Acorde con la propuesta de Enghelmayer y colaboradores [11], se determinó el área de desaturación (AD) durante los 6 minutos de la prueba; se encontró un valor promedio de 54,05. Los resultados del estudio mencionado sugieren que valores de AD iguales o inferiores a cuarenta se asocian con riesgo leve de EPOC, mientras que valores superiores a cuarenta, representan riesgo incrementado que se correlaciona con el índice BODE, que es un indicador complejo que integra variables como el IMC, VEF<sub>1</sub>, disnea y capacidad de ejercicio, correlacionados con el fenómeno de la desaturación de Oxígeno. Los valores estimados del área de AD y del fenómeno en sí se muestran en la (figura 3).



**Figura 1.** Comportamientos promedio de la Frecuencia cardiaca y la saturación arterial de oxígeno durante la caminata de 6 minutos. Mineros de Paipa, 2010.



**Figura 2.** Magnitud de la desaturación arterial de oxígeno después de la caminata de 6 minutos. Mineros de Paipa, 2010.

En el análisis estratificado de las diferentes variables de función respiratoria analizadas, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en relación con el ambiente de trabajo desempeñado, sea bajo tierra o en la superficie.

La (figura 3) permite evidenciar la magnitud de una progresiva desaturación arterial de oxígeno, que se inicia tempranamente y se mantiene hasta el final de la prueba, la cual permitió definir el área de desaturación planteada por Enghelmayer y colaboradores [11], se aprecia además que si bien esta desaturación no llega en promedio a los niveles de lo patológico, en la medida que no alcanza a ser el 4% del porcentaje de saturación basal, sí es significativa y afecta por igual a los trabajadores

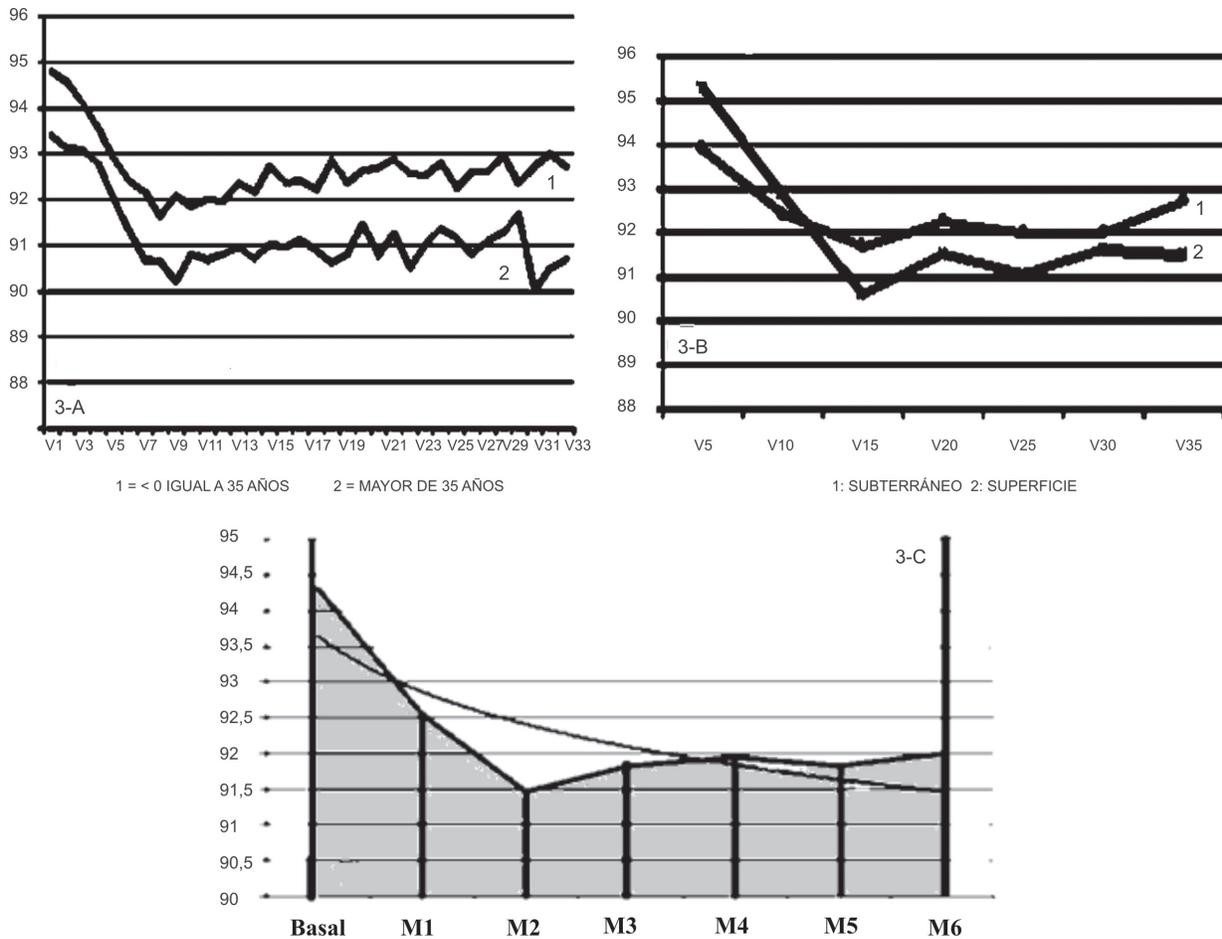
subterráneos o los que se desempeñan en la superficie, de este modo se confirma que el determinante (polvo de carbón, sílice) se distribuye por todos los sectores de las minas; también es evidente que el tiempo de exposición y la edad acentúan la magnitud de la desaturación (componentes A y B de la gráfica).

## Discusión

Es evidente que en un grupo de sujetos, en su mayoría asintomáticos, no se ajusta a la normalidad la ocurrencia de valores significativamente disminuidos en la magnitud de la distancia recorrida ni tampoco en los niveles de saturación arterial de oxígeno.

Si bien la desaturación arterial de oxígeno ha sido definida como una caída en la saturación arterial de oxígeno igual o superior al 4%, que persiste por lo menos durante tres minutos [12], en el presente caso, por tratarse de un grupo de personas relativamente jóvenes y con períodos prolongados de entrenamiento, en un trabajo de alta exigencia física, la disminución en la SPaO<sub>2</sub> llama poderosamente la atención. Varios estudios han demostrado la existencia de por lo menos tres

tipos diferentes de respuesta en la SPaO<sub>2</sub>, durante el ejercicio [13, 14]; se considera que hay desaturación en deportistas cuando los niveles descienden del 95% a valores relativamente tan bajos como del 88% [15]; aunque se ha aportado evidencia que respalda la reproducibilidad de la prueba de caminata de 6 minutos, en particular en la detección de desaturaciones no detectadas en las pruebas de espirometría y de funcionalidad cardiovascular [16].



**Figura3.** Evaluación de la Saturación arterial de Oxígeno (SPaO<sub>2</sub>) en mineros de Paipa, 2010

3A: Niveles de SPaO<sub>2</sub> en porcentaje, según la edad, mayor o menor de 35 años, durante la caminata de 6 minutos

3B: Niveles de SPaO<sub>2</sub> medidos según el lugar de trabajo (superficie o bajo tierra), durante la prueba de 6 minutos

3C: Área de desaturación arterial de Oxígeno durante la caminata de 6 minutos. Fuente: base de datos mineros Paipa, 2010

La prueba de marcha de 6 minutos es un procedimiento relativamente fácil de realizar; en pacientes no comprometidos es bien tolerada y se la reconoce como el test que, de manera más aproximada, refleja las actividades de la rutina personal de la mayoría de las personas; por lo demás, esta prueba evalúa una actividad desarrollada diariamente por los pacientes, como es el caso de caminar, y que presenta requerimientos tecnológicos de bajo costo y fácil accesibilidad [17].

En estas condiciones, las pruebas de desaturación de oxígeno son recomendadas en sujetos que cursan con síntomas respiratorios, usualmente disnea, en quienes —durante las pruebas en reposo— no es posible identificar alteraciones en el intercambio de gases [17]. El ejemplo más característico son los pacientes con algún tipo de enfermedad parenquimatosa difusa, quienes en etapas iniciales manifiestan disnea solamente durante el ejercicio.

La enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) se caracteriza por el desarrollo progresivo de obstrucción de la vía aérea, que solo se puede revertir de una manera parcial, el mecanismo central de la enfermedad es una reacción inflamatoria anómala, principalmente frente a partículas inhaladas. La obstrucción al flujo aéreo se determina por medio de la espirometría, cuando el cociente volumen espiratorio forzado en el primer segundo/capacidad vital forzada ( $VEF_1/CVF$ ), tras broncodilatación, es menor de 0,7 ó, en personas mayores de 60 años, cuando el guarismo obtenido está inmediatamente por debajo de los límites de normalidad. En los pacientes con EPOC, es usual encontrar reducciones significativas en la tolerancia al ejercicio, debida primariamente a diferentes grados de obstrucción de la vía aérea, y también a varios factores [18].

En personas aquejadas por EPOC, la disnea desencadenada por actividades de la vida diaria y recogida en el cuestionario de disnea de la MRC se correlaciona positivamente con la disnea provocada durante el test de marcha de 6 minutos. El registro secuencial de la saturación arterial de oxígeno durante la prueba de marcha, es muy importante ya que el grado de desaturación arterial de oxígeno también demostró estar relacionado con la disnea crónica del paciente [20]. El test de caminata de 6 minutos se ha perfilado como una prueba más sensible en el diagnóstico de la desaturación de oxígeno, cuando se la compara con las pruebas de ejercicio incremental para detectar disminuciones de la saturación de oxígeno mayores o iguales a 4% [19].

La neumoconiosis de los mineros del carbón no se asocia con una declinación significativa del volumen pulmonar, en contraste con un significativo grado de obstrucción bronquial, que puede ser tempranamente detectado por parámetros de funcionalidad pulmonar con alto poder discriminante como la relación de capacidad vital forzada y volumen de flujo espiratorio en el primer segundo  $FEV_1/CVF$ . La reducción del flujo espiratorio puede ser causa de hiperinsuflación de los pulmones con el consecuente incremento del espacio muerto, lo que explicaría los síntomas respiratorios y las limitaciones para el ejercicio que experimentan los mineros afectados por la neumoconiosis tipo I [21].

En la literatura se ha reportado que la distancia recorrida durante la prueba de marcha de 6 minutos es mejor como predictor de mortalidad que el  $VEF_1$  en pacientes con EPOC severo [22]. También se ha demostrado que la prueba de caminata ha demostrado ser un buen predictor de mortalidad en la hipertensión pulmonar, enfermedad pulmonar intersticial [22]. Una importante característica fisiopatológica de la EPOC se basa en la alteración del intercambio gaseoso que empeora durante el ejercicio debido al desequilibrio ventilación/perfusión.

Un factor muy importante a considerar es el de las mediciones de control de concentración de las partículas

presentes en la atmosfera de trabajo de la minería; en los estados unidos, la reducción de los niveles permisibles de concentración de partículas en el aire respirado, que se han disminuido desde 8,8  $mg/m^3$  hasta 2  $mg/m^3$  [1]. La concentración máxima en aire aceptada para 8 horas diarias de trabajo con máximo de 40 horas semanales de exposición a monóxido de carbono, adoptada por la *American Conference Governmental Industrial Hygienist*, es de 25 partes por millón [23]. Se han reportado en las minas de Paipa, concentraciones del siguiente orden de gases al interior de las minas: monóxido de carbono = 35 a 40 ppm; metano = 0,7%; contenidos de oxígeno que varían entre 15% y 19,5% [2]. No se conocen mediciones realizadas sobre el volumen de partículas en el aire respirado por metro cúbico. Hallazgos de los que se desprende la existencia de los siguientes riesgos: temperaturas extremas y cambios bruscos de temperatura; exposición química a gases y vapores, principalmente metano, monóxido de carbono y dióxido de carbono; exposición continua a partículas respiradas de sílice y carbón [2].

Las enfermedades causadas por la exposición a partículas de carbón y sílice, persisten en países en desarrollo, a pesar del amplio bagaje de conocimientos y tecnologías adecuados, de los que se dispone para la prevención. Las razones pueden obedecer al interés de los gobiernos por favorecer la inversión; tal es el caso de Turquía, en donde el nivel máximo permitido de partículas de polvo en el aire respirable alcanza valores de 5  $mg/m^3$  [24]. El control de estas enfermedades puede mejorarse sustancialmente mediante la aplicación de técnicas de ingeniería que limiten la exposición de los trabajadores a estas sustancias tóxicas. Esas tecnologías pueden complementarse con estrategias administrativas, así como el uso de equipos de protección personal. En una distribución óptima de los recursos de salud, se hace necesario insistir en el desarrollo de técnicas y estrategias de prevención primaria mediante el control de la exposición. La detección y la vigilancia médicas son estrategias secundarias que también deben formar parte integral de los programas de prevención de enfermedades.

Diversos estudios han demostrado que la evaluación de la función pulmonar, por diferentes técnicas, permite predecir con mucha aproximación el riesgo de deterioro progresivo o de mortalidad, particularmente por cáncer pulmonar o enfermedad cardiovascular, circunstancias en las que se ha demostrado clara asociación entre el deterioro de la función pulmonar y mortalidad [25].

Es importante anotar que estos resultados podrían estar limitados en su interpretación por el poder estadístico de la muestra, que no permitió demostrar de manera consistente una asociación significativa de la alteración funcional pulmonar con las variables demográficas y físicas incluidas. No obstante, los resultados sí permiten inferir la asociación entre la desaturación arterial de

oxígeno y la exposición continuada a polvo de carbón y sílice como consecuencia de la alteración funcional del alveolo capilar, que se explicaría por la actividad desahogada por estos trabajadores.

## Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos, se evidencia un claro patrón de desaturación arterial de oxígeno, en la muestra analizada de trabajadores de la minería artesanal del carbón, la cual se inicia con la práctica de ejercicio moderado, que si bien no alcanza una magnitud promedio con connotaciones patológicas, puede considerarse como altamente sugestiva de alteración funcional pulmonar en progreso, habida cuenta de que diversos estudios han reconocido que la pulsioximetría es un buen predictor de la alteración de ventilación sobre perfusión (v/q). La magnitud de la desaturación se asocia con la edad y el tiempo de exposición laboral a partículas inhaladas de polvo de carbón y sílice.

La prueba de marcha de seis minutos es un adecuado método diagnóstico, asequible y eficaz, que puede ser utilizado rutinariamente en la evaluación y seguimiento de los trabajadores de la minería artesanal del carbón, para efectos de diagnóstico y control preventivo de la neumoconiosis de los mineros del carbón, en concordancia con las propuestas sobre esta temática, emanadas del Ministerio de la Protección Social [26].

Es urgente que las autoridades sanitarias, ambientales y mineras establezcan reglamentaciones claras sobre las condiciones ambientales en las que se ejerce la minería del carbón y se establezcan controles eficientes de las concentraciones de partículas de polvo en el aire respirado de los ambientes de las minas de carbón.

## Agradecimientos

Los autores reconocen su gratitud a las organizaciones cooperativas de mineros de Paipa y a los trabajadores de la muestra por su decidida colaboración y empeño en el desarrollo de este estudio.

## Referencias

- González MN, Manrique FG, Ospina JM, Roa M, Hurtado E. Utilidad de las técnicas de espirometría y oximetría en la predicción de alteración pulmonar en trabajadores de la minería del carbón en Paipa – Boyacá. *Rev. Fac. Med.* 2009; 57(2): 5-15.
- Ospina JM, Manrique FG, Guío JA. Salud y trabajo: minería artesanal del carbón en Paipa, Colombia. *Rev. Av. Enferm.* 2010; 28(1): 107-115.
- Yang SC, Lin YF. Airway function and respiratory resistance in taiwanese coal workers with simple pneumoconiosis. *Chang Gung Med J.* 2009; 32(4): 438-46.
- Bowen JB, Votto JJ, Thrall RS, Haggerty MC, Stockdale WR, Bandyopadhyay T, ZuWallack RL. Functional status and survival following pulmonary rehabilitation. *Chest.* 2000; 118: 697-703.
- Vargas C, Mejía R, Martínez R, Silva M, Vásquez JC, Torre L. Prueba de desaturación y titulación de oxígeno suplementario. Recomendaciones y procedimientos. *Rev. Neumología y Cirugía del Tórax.* 2009; 68(4): 162-73.
- Gerardi DA, Lovett L, Benoit ML, Reardon JZ, ZuWallack RL. Variables related to increased mortality following out-patient pulmonary rehabilitation. *Eur Respir J.* 1996; 9: 431-35.
- Kessler R, Faller M, Fourgaut G, Mennecier B, Weitzenblum E. Predictive factors of hospitalization for acute exacerbation in a series of 64 patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med.* 1999; 159: 158-64.
- Butland RJ, Pang J, Gross ER, Woodcock AA, Geddes DM. Two-, six-, and 12-minute walking tests in respiratory disease. *Br Med J (Clin Res Ed).* 1982; 284: 1607-8.
- Enright PL, Sherril DL. Reference equations for the six-minute walk in healthy adults. *Am J Respir Crit Care Med.* 1998; 158: 1384-1387.
- Rabinovich RA, Vilaró J, Roca J. Evaluación de la tolerancia al ejercicio en pacientes con EPOC. Prueba de marcha de 6 minutos. *Arch Bronconeumol.* 2004; 40(2): 80-85.
- Enghelmayer JI, Papucci T, Scrimini S, Jolly E, Gené R. Desaturación en la prueba de marcha de 6 minutos: su relación con predictores de mortalidad en EPOC. *Rev Am Med Resp.* 2010; 10(1): 12-20.
- Prefaut C, Durand F, Mucci P, Caillaud C. Exercise-induced arterial hypoxemia in athletes: a review. *Sports Med.* 2000; 30: 47-61.
- Cockcroft A, Beaumont A, Adams L, Guz A. Arterial oxygen desaturation during treadmill and bicycle exercise in patients with chronic obstructive airways disease. *Clin Sci (Lond).* 1985; 68: 327-328.
- Palange P, Forte S, Onorati P, Manfredi F, Serra P, Carlone S. Ventilatory and metabolic adaptations to walking and cycling in patients with COPD. *J Appl Physiol.* 2000; 88: 1715-20.
- Garrido RP, González M, Expósito I, Garnés AF. Patrones de saturación durante la realización de una ergoespirometría [revista en internet] 2004. [acceso 4 de Junio de 2011]; 10(79). Disponible en: <http://www.efdeportes.com>
- Covey MK, Larson JL, Alex CG, Wirtz S, Langbein WE. Test-retest reliability of symptom-limited cycle ergometer tests in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Nurs Res.* 1999; 48(1): 9-19.
- American Thoracic Society Statement. Guidelines for the six-minute walk test. *Am J Respir Crit Care Med.* 2002; 166: 111-117.
- Poulain M, Durand F, Palomba B, Ceugniet F, Despland J, Varray A, Préfaut C. 6-minute walking testing is more sensitive than maximal incremental cycle testing for detecting Oxygen desaturation in patients with COPD. *Chest.* 2003; 123(5): 1401-7.
- Casanova C, García M, de Torres JP. La disnea en la EPOC. *Arch Bronconeumol.* 2005; 41 (Supl 3): 24-32.
- Shieh Y, Yu-Fan L. Airway function and respiratory resistance in Taiwanese coal workers with simple pneumoconiosis. *Chang Gung Med J.* 2009; 32(4): 438-446.
- Takigawa N, Tada A, Soda R, Date H, Yamashita M, Endo S, Takahashi S, Kawata N, Shibayama T, Hamada N, Sakaguchi M, Hirano A, Kimura G, Okada C, Takahashi K. Distance and oxygen desaturation in 6-min walk test predict prognosis in COPD patients. *Respir Med.* 2007; 101: 561-567.
- Lama VN, Flaherty KR, Toews GB, Colby TV, Travis WD, Long Q, Murray S, Kazerooni EA, Gross BH, Lynch JP, Martínez FJ. Prognostic value of desaturation during 6-minute walk test in idio-

- pathic interstitial pneumonia. *Am J Respir Crit Care Med.* 2003; 168: 1084-1090.
- 23 Policy Statement on the Uses of TLVs® and BEIs®. Statement of Position Regarding the TLVs® and BEIs® [internet]. Cincinnati: ACGIH; 2002 [acceso 21 de Mayo de 2011]. Disponible en: <http://www.acgih.org/tlv/PosStmt.htm>
- 24 Onder M, Onder S, Evaluation of occupational exposures to respirable dust in underground coal mines. *Industrial Health.* 2009; 47: 43-49.
- 25 Kanta S, Hnizdo E, Petsonk E, Attfield M. Decline in lung function and mortality: implications for medical monitoring. *Occup environ Med.* 2007; 64: 461-466.
- 26 Ministerio de la Protección Social. Plan nacional para la prevención de la silicosis, la neumoconiosis de los mineros del carbón y la asbestosis 2010-2030 [internet]. Bogotá D.C: MPS; 2010 [acceso 19 de Octubre de 2011]. Disponible en: <http://www.neumologica.org/Archivos/Ocupacional/plan%20nacional%20silicosis.pdf>