UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA

“LA ESPIROMETRIA OCUPACIONAL Y LA VALIDACIÓN DE ECUACIONES ESPIROMETRICAS”

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO EN MEDICINA OCUPACIONAL Y DEL MEDIO AMBIENTE

ROGER CATALAN CAMARA

LIMA – PERÚ

2024

ASESOR

Mg. Jonh Maximiliano Astete Cornejo

JURADO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Mg. Mirko Pezoa Villanueva

PRESIDENTE

Mg. Cinthia Cruz Meza

VOCAL

Mg. Gabriel Acurio Salazar

SECRETARIO

DEDICATORIA.

A mi madre que me enseñó la perseverancia.

A mi esposa, por su constante apoyo.

A mis hijos, por ser el motivo de mi vida.

AGRADECIMIENTOS.

A Dios por darme salud

FUENTES DE FINANCIAMIENTO.

Trabajo de investigación Autofinanciado

DECLARACIÓN DE AUTOR			
FECHA	**11**	**setiembre**	**2024**
APELLIDOS Y NOMBRES DEL EGRESADO	**CATALAN CAMARA, ROGER**		
PROGRAMA DE POSGRADO	**MAESTRÍA EN MEDICINA OCUPACIONAL Y DEL MEDIO AMBIENTE**		
AÑO DE INICIO DE LOS ESTUDIOS	**2013**		
TITULO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN DE GRADO	**ESPIROMETRIA OCUPACIONAL Y LA ESTIMACIÓN DE ECUACIONES ESPIROMETRICAS**		
MODALIDAD DE TRABAJO DE GRADO	PORTAFOLIO		

Declaración del Autor

El presente Trabajo de Grado es original y no es el resultado de un trabajo en colaboración con otros, excepto cuando así está citado explícitamente en el texto. No ha sido ni enviado ni sometido a evaluación para la obtención de otro grado o diploma que no sea el presente.

Teléfono de contacto (fijo / móvil)	**961699510**
E-mail	**roger.catalan.c@upch.pe**

Roger Catalan Cámara

DNI 31039423

TABLA DE CONTENIDOS

Resumen

Abstract

I. Desarrollo de capítulos

I.1 La espirometría y la espirometría ocupacional ____ 1

I.2 Las ecuaciones predictivas y su situación mundial ____ 21

I.3 Situación en el Perú ____ 40

II. Conclusiones ____ 58

III. Recomendaciones ____ 59

IV. Referencias bibliográficas ____ 60

RESUMEN

La espirometría ocupacional ha sido, desde su implementación en este campo de la medicina, una herramienta útil para el diagnóstico de enfermedades pulmonares posteriormente relacionadas a la exposición dentro de actividades laborales, principalmente aquellas con exposición al polvo de sílice como construcción, minería, soplado de vidrio entre otras. El uso de ecuaciones espirométricas para la determinación de los parámetros espirométricos ha permitido que en Hispanoamérica, en Argentina a través de estudios como el realizado por Aguilar y colaboradores donde hallaron mayor correlación con las variables talla y peso para la construcción de una ecuación espirométrica en varones y mujeres; como en Europa como en Polonia donde Gólczewski evalúa la idoneidad del uso de ecuaciones propuestas por la Sociedad Respiratoria Europea y la Comunidad Europea para el Acero y Hierro, primariamente diseñadas para la población inglesa, para la población polaca; resultado ser idóneas para su uso; se sugiera estudiar la aplicabilidad de ecuaciones definidas de parámetros espirométricos debido a las variaciones que pudieran presentarse por influencia de la altura de la ciudad, peso, edad y talla,. A nivel mundial que cada país y sus respectivas regiones, de ser el caso, se han visto en la necesidad de proponer el uso de estas ecuaciones, pero adecuadas a su geografía, altitud, clima sumadas al componente antropométrico de su población llámese talla, peso, edad, sexo, etc debido a sobre y subestimaciones de mediciones de parámetros espirométricos. El Perú no es ajeno a esta realidad y es así que trabajos como del de Pretell en el 2022 o Llanos-Salcedo en el 2020 demuestran la necesidad de realizar estudios para acercarse a un valor convencionalmente verdadero. El objetivo de la presente revisión es describir la

realidad de la espirometría ocupacional a nivel mundial y las limitantes presentes a nivel nacional para la determinación de ecuaciones espirométricas.

Palabras clave: Espirometría, enfermedad ocupacional, valor de referencia, capacidad vital, volumen espiratorio forzado.

ABSTRACT

Occupational spirometry has been, since its implementation in this field of medicine, a useful tool for the diagnosis of lung diseases subsequently related to exposure within work activities, mainly those with exposure to silica dust such as construction, mining, glass blowing, among others. The use of spirometric equations for the determination of spirometric parameters has allowed in Latin America, in Argentina through studies such as the one carried out by Aguilar and collaborators where they found a greater correlation with the variables height and weight for the construction of a spirometric equation in men and women; as in Europe as in Poland where Gólczewski evaluates the suitability of the use of equations proposed by the European Respiratory Society and the European Community for Steel and Iron, primarily designed for the English population, for the Polish population; found to be suitable for use; it is suggested to study the applicability of defined equations of spirometric parameters due to the variations that could occur due to the influence of the height of the city, weight, age and height. At a global level, each country and its respective regions, if applicable, have found it necessary to propose the use of these equations, but adapted to their geography, altitude, climate added to the anthropometric component of their population, namely height, weight, age, sex, etc. due to over and underestimations of measurements of spirometric parameters. Peru is no stranger to this reality and thus works such as that of Pretell in 2022 or Llanos-Salcedo in 2020 demonstrate the need to carry out studies to get closer to a conventionally true value. The objective of the present review is to describe the reality of occupational spirometry at a global

level and the limitations present at a national level for the determination of spirometric equations.

Keywords: Spirometry, occupational disease, reference value, vital capacity, forced expiratory volume.

I. DESARROLLO DE CAPÍTULOS

I.1. La espirometría y la espirometría ocupacional

La espirometría, de acuerdo con la NIOSH y OSHA es "una prueba funcional respiratoria que mide la capacidad de una persona para transportar el aire de hacia adentro y afuera de sus pulmones". La espirometría es una prueba de función pulmonar no invasiva que mide el volumen y el flujo de aire que una persona puede inhalar y exhalar. Evalúa la función pulmonar registrando la cantidad y la velocidad del aire expulsado de los pulmones después de una inhalación profunda (1,2). La prueba produce un gráfico conocido como espirograma, que muestra varios parámetros. Este concepto se traslada al área ocupacional cuando el paciente es un trabajador en condiciones de exposición a polvos, gases o humos que pudieran estar afectando la función pulmonar (2).

La espirometría mide la función mecánica respiratoria, incluyendo el tamaño pulmonar (capacidad vital forzada, FVC) y el flujo aéreo (volumen espiratorio forzado en el primer segundo, FEV1). La relación FEV1/FVC es clave para identificar obstrucción al flujo aéreo. Los valores espirométricos dependen del tamaño pulmonar (relacionado con la estatura), el sexo y la edad. La espirometría es sencilla y útil, pero requiere la cooperación del paciente y un esfuerzo máximo.

La espirometría es una prueba de función pulmonar esencial que evalúa las propiedades mecánicas del sistema respiratorio y es el estándar de oro para identificar la obstrucción del flujo aéreo. Mide los flujos y volúmenes de aire exhalado desde una inspiración máxima, y su ejecución es sencilla, rápida y no invasiva. Los parámetros funcionales clave obtenidos son la capacidad vital forzada (FVC), el volumen espiratorio forzado en el primer segundo (FEV1) y el cociente FEV1/FVC (2, 3).

Para entender la espirometría debemos tener un concepto mínimo de cómo funciona el sistema respiratorio y cuál es su reacción ante una enfermedad pulmonar. El sistema respiratorio consta de: **Vía de conducción del aire:** que incluye nariz, vía aérea superior y bronquiolos terminales. **Área de intercambio gaseoso:** que son las unidades alveolocapilares. **Sistema motor:** caja torácica, músculos respiratorios (principalmente el diafragma) y control del sistema nervioso central (4).

La vía aérea se divide en superior e inferior, esta última comienza en la tráquea y se ramifica en bronquios. El diseño alveolar maximiza la superficie de contacto para el intercambio de gases (1,3). El tamaño pulmonar depende del tamaño corporal y la caja torácica. Los alvéolos, formados por neumocitos tipo I y II, son el sitio de intercambio gaseoso. El tórax óseo y los músculos respiratorios, principalmente el diafragma, son esenciales para la respiración. El ciclo respiratorio incluye la inspiración (activa) y la espiración (pasiva o activa) (1,4).

El flujo aéreo requiere una diferencia de presión y depende de la viscosidad del fluido, la longitud del tubo y el tipo de flujo (laminar o turbulento). El diámetro del tubo es crucial, ya que una disminución a la mitad aumenta 16 veces la resistencia. La resistencia pulmonar total incluye la resistencia de la vía aérea y del tejido pulmonar. La resistencia de la vía aérea se ve afectada por cambios en el calibre del músculo liso, inflamación crónica (como en la EPOC) y compresión dinámica durante la espiración forzada. La espirometría es una herramienta indirecta para evaluar la resistencia de la vía aérea (1).

Las enfermedades respiratorias inferiores (neumológicas) pueden ser causadas por agentes relacionados con el trabajo. La Organización Internacional del Trabajo (OIT) y el Ministerio de Salud del Perú (MINSA) han compilado listas de

enfermedades profesionales, incluidas las enfermedades respiratorias de origen infeccioso y neoplásico. Entre ellas se incluyen diversas neumoconiosis, asma ocupacional, enfermedades broncopulmonares por polvo orgánico, neumonitis por hipersensibilidad, enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), tuberculosis ocupacional y neoplasias como el carcinoma pulmonar y el mesotelioma pleural (2, 4).

Las enfermedades respiratorias inferiores (neumológicas) pueden ser causadas por agentes relacionados con el trabajo. La Organización Internacional del Trabajo (OIT) y el Ministerio de Salud del Perú (MINSA) han compilado listas de enfermedades profesionales, incluidas las enfermedades respiratorias de origen infeccioso y neoplásico. Entre ellas se incluyen diversas neumoconiosis, asma ocupacional, enfermedades broncopulmonares por polvo orgánico, neumonitis por hipersensibilidad, enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), tuberculosis ocupacional y neoplasias como el carcinoma pulmonar y el mesotelioma pleural (1).

Un trabajo de tesis propuesto por Jesús Santiani en la Universidad Peruana Cayetano Heredia tuvo como objetivo principal elaborar un documento técnico sobre el diagnóstico de enfermedades neumológicas relacionadas con el trabajo. En esta investigación se analizaron los aspectos clínicos, imagenológicos, funcionales, microbiológicos e inmunológicos relevantes para cada exposición y enfermedad; además, se sintetizará e integrará la información obtenida en los campos del diagnóstico, epidemiología, fisiopatología, prevención y tratamiento (5).

La introducción destaca que la relación entre los agentes del entorno laboral y el desarrollo de enfermedades se estableció en el siglo XVIII. El sistema respiratorio

es particularmente vulnerable debido a su contacto directo con el aire y los agentes externos. Las enfermedades respiratorias ocupacionales son comunes y pueden tener graves consecuencias para la salud de los trabajadores (5). A lo largo de los siglos XIX y XX, se describieron enfermedades como la neumoconiosis y se establecieron asociaciones entre la exposición a sustancias como el asbesto y el desarrollo de neoplasias respiratorias. Diversas ocupaciones se han relacionado con enfermedades pulmonares específicas, como el "pulmón del granjero" y otras neumonitis por hipersensibilidad (5,6). El asma, una enfermedad respiratoria prevalente, también puede tener origen laboral, ya sea como asma ocupacional o asma agravada por el trabajo. Las infecciones respiratorias, como la tuberculosis en trabajadores de la salud, también se consideran enfermedades ocupacionales si se adquieren en el lugar de trabajo. Las enfermedades respiratorias inferiores (neumológicas) pueden ser causadas por agentes relacionados con el trabajo (6). La Organización Internacional del Trabajo (OIT) y el Ministerio de Salud del Perú (MINSA) han compilado listas de enfermedades profesionales, incluidas las enfermedades respiratorias de origen infeccioso y neoplásico. Entre ellas se incluyen diversas neumoconiosis, asma ocupacional, enfermedades broncopulmonares por polvo orgánico, neumonitis por hipersensibilidad, enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), tuberculosis ocupacional y neoplasias como el carcinoma pulmonar y el mesotelioma pleural (1,5).

La OIT y el MINSA han publicado listas de enfermedades profesionales, incluidas las enfermedades respiratorias. La lista de la OIT, que data de 2010, se divide en secciones según la etiología y los sistemas afectados (7). La lista del MINSA, publicada en 2008, clasifica las enfermedades en seis grupos según el agente causal.

Ambas listas incluyen enfermedades respiratorias causadas por agentes químicos, físicos y biológicos, así como cánceres profesionales (8).

El documento resultante se intentó que sirva como una guía completa para el diagnóstico y la comprensión de las enfermedades neumológicas ocupacionales, y se espera que sea un recurso valioso para el desarrollo de protocolos de manejo, guías de práctica clínica, normativas y futuras investigaciones y; a su vez, este trabajo busca abordar el subregistro en la notificación de enfermedades profesionales del sistema respiratorio inferior y el diagnóstico tardío de las mismas. Se espera que una revisión exhaustiva de la literatura científica y la elaboración de un documento técnico integrado contribuyan a mejorar el diagnóstico, la prevención y el tratamiento de estas enfermedades, reduciendo así su impacto en la salud de los trabajadores y los costos asociados (5).

Un documento en México publicado por Benítez y equipo resume los estándares mundiales para realizar una espirometría forzada, siguiendo las directrices de la Sociedad Americana del Tórax y la Sociedad Respiratoria Europea de 2005, e incorpora recomendaciones para su uso en la evaluación médico-ocupacional. Indicando dentro de que situaciones se puede ordenar una espirometría (4):

- Diagnóstico de patologías respiratorias con síntomas como disnea, tos, sibilancias o estridor, o signos como estertores o deformidad torácica.
- Evaluación del impacto pulmonar de enfermedades sistémicas, como la enfermedad pulmonar intersticial o enfermedades neuromusculares.
- Detección en individuos con factores de riesgo de enfermedad pulmonar, como fumadores mayores de 35 años o personas expuestas a biomasa o sustancias tóxicas.

- Valoración preoperatoria en pacientes con EPOC, asma o disnea inexplicable.
- Valoración del estado de salud antes de iniciar programas de actividad física intensa.
- Seguimiento y pronóstico de enfermedades pulmonares como EPOC, asma, fibrosis quística, fibrosis pulmonar idiopática y distrofias musculares.
- Evaluación de la función pulmonar en el ámbito laboral, con espirometrías al ingreso y anuales.
- Seguimiento de sujetos expuestos a tóxicos pulmonares, incluyendo fármacos.
- Evaluación de discapacidad en pacientes candidatos a rehabilitación.
- Estudios epidemiológicos y de investigación clínica.

Así mismo; presenta algunas situaciones en las que no es posible realizar o está contraindicado realizar la maniobra espirométrica y las divide en:

- **Relativas:** cirugía reciente, infecciones activas, embarazo complicado, derrame pleural reciente, neumotórax reciente, infarto al miocardio reciente, angina estable y ciertas condiciones médicas que requieren precaución con el uso de broncodilatadores.
- **Absolutas:** preeclampsia, hipertensión arterial sistémica descontrolada, inestabilidad hemodinámica, hemoptisis, aneurisma aórtico grande, síndrome coronario agudo, hipertensión intracraneal y desprendimiento agudo de retina.

De acuerdo con los autores es necesario llevar a cabo un programa de control de calidad del espirómetro y esto incluye: la validación del instrumento para asegurar

la reproducibilidad de las mediciones, la calibración y verificación diaria de la calibración utilizando una jeringa de 3 litros (Los espirómetros deben cumplir con las normas ISO 26782, y el equipo espirométrico no debe superar un ± 2.5% de error máximo permisible al ser probado con una jeringa de calibración de 3 L), la revisión trimestral de la linealidad en todo el rango de volumen del espirómetro y un control biológico semanal con un sujeto sano para evaluar la consistencia de las mediciones (1,2,3,4).

El diagnóstico de enfermedades pulmonares relacionadas con la actividad laboral ha sido de preocupación desde hace muchos años siendo que desde finales de la década de los ochentas la aplicación de la espirometría forzada, aquella donde el paciente expulsa el aire contenido después de una inhalación máxima en el menor tiempo posible, ya era recomendada por diversas instituciones como el Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo de España mediante su NTP 218; en el Perú, en el 2008 (aún en vigencia) se publicó la Guía de Evaluación Médico Ocupacional GEMO-006: Guía Técnica para realizar Espirometría Ocupacional por el Centro Nacional de Salud Ocupacional y protección del Ambiente para la Salud – CENSOPAS del Instituto Nacional de Salud adoptando las recomendaciones no solo de la NTP 218 sino de la publicación OSHA 3637-03 2013: Pruebas de espirometría en programas de salud ocupacional: mejores prácticas para profesionales de la salud.

Para cuantificar y entender la fisiología pulmonar medida en una maniobra espirométrica existen los llamados valores espirométricos, los cuáles se obtienen directamente de la medición o mediante cálculos adicionales muchas veces realizados ya por la interfaz del espirómetro (2, 4). Estas mediciones brindan

información valiosa sobre la capacidad pulmonar, la obstrucción del flujo de aire y los posibles problemas respiratorios. Estos parámetros de interés son los siguientes: Volumen Espiratorio Forzado (VEF1), definido como la cantidad de aire expulsado en el primer segundo de la espiración máxima, posterior una inspiración máxima; la Capacidad Vital Forzada (CVF): la cantidad de aire que es expulsado por los pulmones de manera forzada y con la máxima rapidez que el paciente pueda lograr; este indicador es utilizado ya que, en ciertas patologías, pueda que la capacidad de aire forzado de los pulmones sea menor a la capacidad vital en una exhalación más lenta; el VEF1/CVF, que es la relación, expresada en porcentaje, de la capacidad forzada que se espira en el primer segundo y el total exhalado en la capacidad vital forzada y tiene un valor normal de 80%; el Flujo espiratorio forzado entre el 25% y el 75% de la capacidad vital forzada (FEF25-75) definido como un cálculo que se obtiene al dividir la línea en la gráfica de la espiración forzada total en cuatro percentiles y seleccionar la mitad media, es decir, entre el percentil 25 hasta el 75 la teoría establece que se puede calcular dividiendo el volumen en litros entre el tiempo en segundos de la CVF (2).

De acuerdo con la GEMO-006, se utiliza una maniobra de circuito abierto que requiere que el paciente inhale, usar la boquilla del espirómetro, de manera rápida (< 1 segundo) hasta lograr la máxima capacidad pulmonar, mientras se encuentra en la posición correcta y se haya colocado la pinza nasal correctamente para evitar que se vuelva a inhalar por la nariz. Luego se indica que se realice una espiración explosiva hasta llegar a un indicador de finalización que se determina por más de 6 segundos de exhalación y 2 segundos de meseta sin variaciones en la curva volumen-tiempo. Para inhalar nuevamente, el trabajador debe retirarse la boquilla

buscando lograr tres buenos esfuerzos que cumplan con los criterios de aceptabilidad y para ello generalmente no se requiere realizar más de 8 maniobras. En caso de maniobra fallida, es necesario repetir toda la maniobra luego de brindar una nueva demostración. Una vez realizado todo lo mencionado se debe revisar los criterios de repetitividad y en caso sea necesario, repetir hasta 15 maniobras (1).

La espirometría suele ser difícil de interpretar por médicos no entrenados y es por eso por lo que la American Thoracic Society y la European Respiratory Society (ATS/ERS) han actualizado recientemente las recomendaciones (publicadas en 2005) oficiales en la estandarización de la espirometría mediante una publicación emitida en 2019, incluyendo cambios significativos como el control de pacientes pediátricos para "detectar exacerbaciones de la enfermedad base y la recuperación de la misma". Asimismo, indica algunas contraindicaciones relativas en cuanto no realizar la espirometría como por ejemplo los casos relacionados con aumento de demanda miocárdico o cambios en la presión arterial, cambios en la presión intracraneal y/o intraocular, aumento de la presión intratorácica, etc (3).

Asimismo, brinda algunas recomendaciones del espacio donde se lleva a cabo la maniobra espirométrica, que sea tranquilo y cómodo, que permita al paciente sentarse con los pies apoyados en el piso y que cuente con pinzas nasales para realizar la maniobra forzada. El procedimiento recomendado por la la American Thoracic Society y la European Respiratory Society (ATS/ERS) se resume de la siguiente manera (3):

Lavarse las manos o aplicar desinfectante de manos antes de cada paciente.

El paciente debe recibir un gel desinfectante para manos o una toallita al llegar al lugar de la prueba. En caso halla pacientes enfermos, se puede tener un equipo

exclusivo para evaluar solo a éstos, o en su defecto, evaluar a estos pacientes al final de la jornada para permitir una buena desinfección del espirómetro (4).

En cuanto al paciente, se debe registrar la edad en años con un decimal, la altura en centímetros con un decimal y el peso al 0,5 kg más cercano. Para los pacientes a los que no pueda calcularse la talla, ésta puede estimarse utilizando la longitud del cúbito (el preferido para niños) o la longitud del brazo; según sexo, edad y etnia, Las ecuaciones para el cálculo de acuerdo con la longitud del cúbito se encuentran en la sección E6 del suplemento de la estandarización. Registrar sexo al nacimiento y la etnia (de acuerdo con la Iniciativa Global de la Función Pulmonar, GLI). No fumar, no usar cigarrillos electrónicos (mínimo 1 h antes); no consumir ningún tipo de droga o haber ingerido bebidas alcohólicas (mínimo 8 h antes); no haber realizado ejercicio intenso (mínimo 1 h antes) y usar ropa cómoda y holgada. No haber usado previamente broncodilatadores en caso de querer diagnosticar una patología pulmonar subyacente.

Se acepta que en caso un paciente no pueda usar una boquilla pueda usar una mascarilla facial (3,4).

En cuanto al procedimiento en si de la maniobra espirométrica se pueden distinguir cuatro fases: 1) Fase 1 de máxima inspiración: debe ser rápida y con una pausa a máxima inspiración menor de 02 segundos. Se tiene que observar al paciente notando ciertos indicadores de máxima inspiración como pueden ser la elevación de las cejas o la apertura de los ojos, e incluso el temblor de la cabeza misma. 2) espiración inicial “explosiva”, 3) espiración continua hasta un máximo de 15 segundos, y 4) nueva inspiración forzada hasta el máximo volumen pulmonar. La novedad es esta última fase la cual tiene como objetivo la identificación de una

inadecuada inspiración máxima previa a la espiración (inadecuada primera fase) (3).

Para poder realizar una interpretación correcta de una espirometría, debemos obtener una prueba de calidad y fiable, para lo que se deben conseguir unos criterios de aceptabilidad y reproducibilidad de las maniobras espirométricas según las recomendaciones de la ERS/ATS: (1, 3)

Criterios de aceptabilidad: deben tenerse en cuenta el inicio, transcurso y la finalización de la maniobra espirométrica, observables en las gráficas volumen/tiempo (V/T) y flujo/volumen (F/V). Estas gráficas son esenciales para evaluar la calidad de la maniobra y la presencia de artefactos. La gráfica V/T muestra el tiempo (eje x) contra el volumen (eje y), mientras que la gráfica F/V muestra el flujo espiratorio (eje y) contra el volumen espirado (eje x) (1,2).

El siguiente paso consiste en determinar si la prueba es reproducible. Esto significa que al menos dos maniobras de las tres que se consideran aceptables deben ser muy parecidas (< 150 ml de diferencia) entre los mejores valores de FEV_1 y FVC o de 100 ml cuando la FVC es menor a un litro. Se realizarán un mínimo de tres maniobras aceptables, hasta un máximo de 8 (1,2).

Para la interpretación de una espirometría, una vez confirmada la aceptabilidad y reproducibilidad, tenemos que fijarnos inicialmente en la forma de las curvas espirométricas (patrones espirométricos) con una lectura posterior de los valores obtenidos con el siguiente orden: FEV_1/CVF para objetivar si existe obstrucción, FVC para determinar si además hay restricción y finalmente el FEV_1, que nos aportará información de la gravedad de la posible obstrucción existente (2).

Patrón normal: todos los parámetros están dentro de la normalidad: $FEV_1/FVC \geq 70$ % (o ≥ límite inferior de la normalidad [LIN]), $FEV_1 \geq 80$ % del valor teórico (o ≥ LIN) y FVC ≥ 80 % del valor teórico (o ≥ LIN). La curva F/V se inicia rápidamente, cercana al eje del flujo (l/s) hasta alcanzar precozmente el flujo espiratorio máximo (PEF o FEM), después un descenso mantenido con una pendiente menos pronunciada que el ascenso, y termina de forma asintótica hasta alcanzar el eje del volumen (l), marcando la FVC. En la curva V/T, inicio y ascenso rápidos con una pendiente marcada hasta el primer segundo, aplanándose progresivamente hasta alcanzar la FVC (2).

Patrón obstructivo: viene determinado por un FEV_1/FVC disminuido junto con FEV_1 bajo (en fases iniciales puede ser normal). La gravedad de la obstrucción viene determinada por el FEV_1. La curva F/V se inicia rápidamente con un PEF disminuido. El descenso de la curva presenta una concavidad hacia arriba y hacia la derecha directamente proporcional al nivel de obstrucción. La curva V/T tiene una pendiente menor que la normal, ascendente hasta alcanzar la FVC (2).

Patrón mixto: reúne las características de los patrones restrictivo y obstructivo con todos los valores disminuidos. La curva F/V se caracteriza por un ascenso rápido con un PEF reducido con concavidad en la rama descendente proporcional al nivel de obstrucción, alcanzando muy pronto la FVC (2).

Un estudio en Paraguay aborda la importancia de los criterios de reproducibilidad y aceptabilidad de los espiromgramas; en este artículo se enfocó en evaluar la calidad de las espirometrías realizadas en un servicio neumológico de adultos, analizando aspectos como la aceptabilidad, reproducibilidad y calidad general de las pruebas. Se examinaron 70 espirometrías, considerando criterios específicos

para determinar si cumplían con los estándares recomendados por organizaciones como la Asociación Latinoamericana de Tórax (ALAT) y la Sociedad Española de Patología Respiratoria (SEPAR). Los resultados revelaron que más del 95% de las espirometrías analizadas alcanzaron un nivel de buena calidad, lo que indica que el servicio neumológico en cuestión está realizando las pruebas de manera adecuada y siguiendo las pautas establecidas. Sin embargo, se identificaron algunos errores comunes, como la terminación temprana del procedimiento y diferencias inaceptables entre las variables medidas. Estos errores, aunque no frecuentes, resaltan la importancia de mantener un riguroso control de calidad en la realización de espirometrías. La calidad técnica de la espirometría es fundamental para obtener resultados precisos y confiables. Errores en la realización de la prueba pueden llevar a diagnósticos erróneos y, en consecuencia, a tratamientos inadecuados. Por esta razón, organizaciones como la ALAT se esfuerzan por establecer criterios unificados y promover la capacitación de profesionales de la salud en la correcta ejecución de espirometrías. El estudio destaca la importancia de ampliar el uso de la espirometría en el ámbito médico, ya que esta prueba no solo es útil para el diagnóstico, sino también para el seguimiento y pronóstico de enfermedades respiratorias. Además, subraya la necesidad de implementar controles de calidad periódicos en los servicios de salud donde se realizan espirometrías, con el fin de garantizar la precisión y reproducibilidad de los resultados. En conclusión, este artículo resalta la relevancia de la espirometría en el campo de la neumología y enfatiza la importancia de realizar las pruebas de manera rigurosa y siguiendo los estándares establecidos. La calidad de las espirometrías es crucial para obtener resultados confiables que permitan un diagnóstico preciso y un tratamiento

adecuado de las enfermedades respiratorias. La capacitación continua de los profesionales de la salud y la implementación de controles de calidad son esenciales para garantizar la excelencia en la atención médica respiratoria (9).

Aunque muchos estudios mencionan el cumplimiento de las recomendaciones que da la ATS/ERS, a menudo no detallan la calidad de las pruebas realizadas. Un estudio en Alemania tuvo como objetivo evaluar los criterios de aceptabilidad y repetibilidad de la espirometría en condiciones de campo ocupacionales, utilizando datos de dos estudios previos: WELDOX (242 soldadores) y AllergoVet (312 estudiantes de veterinaria).

Se analizaron los gráficos de flujo-volumen y los resultados numéricos de las espirometrías, considerando los criterios de calidad ATS/ERS de 2005. Se evaluó la aceptabilidad de las mediciones, teniendo en cuenta artefactos, volumen extrapolado hacia atrás (BEV) y el final de la espiración forzada (EOFE). La repetibilidad se determinó analizando las diferencias entre los valores de FEV1 (volumen espiratorio forzado en el primer segundo) y FVC (capacidad vital forzada) en las mejores maniobras (10).

Los resultados de ambos estudios resaltan la importancia de seguir las recomendaciones de la ATS/ERS para garantizar la calidad de las pruebas de espirometría en entornos laborales. La correcta realización de las maniobras respiratorias, la identificación y manejo de artefactos, y la comparación con los valores de referencia son aspectos cruciales para obtener resultados fiables y significativos en la evaluación de la función pulmonar de los trabajadores (19).

En términos de implicaciones para la salud ocupacional y las pruebas de función pulmonar en entornos laborales reales, los hallazgos de este estudio subrayan la

necesidad de una capacitación adecuada del personal encargado de realizar las pruebas de espirometría, así como de una supervisión constante para garantizar la calidad y fiabilidad de los resultados. Además, la identificación temprana de artefactos y la aplicación de criterios estrictos de aceptabilidad son fundamentales para detectar posibles problemas respiratorios en los trabajadores y estudiantes evaluados (10).

En conclusión, este estudio demuestra que es posible realizar espirometrías de buena calidad en entornos de campo, cumpliendo con los criterios de aceptabilidad y repetibilidad de la ATS. Sin embargo, es importante tener en cuenta que no todos los participantes cumplen con estos requisitos, lo que debe considerarse al presentar los resultados de estudios sobre la función pulmonar. Las mediciones puntuales pueden proporcionar una clasificación inicial, pero se debe prestar especial atención a los valores "falsos normales", especialmente en estudios longitudinales. Se destaca la importancia de una instrucción adecuada y personalizada para garantizar la calidad de las pruebas de espirometría, especialmente en personas mayores o con enfermedades pulmonares (10).

El avance de la medicina, en cuanto a tecnología, viene dándose de una manera vertiginosa, tanto así que el uso de la telemedicina viene teniendo mucha aceptación a nivel mundial. En la rama de la medicina ocupacional; incluso se ha propuesto la telespirometría y, en ese camino, en Italia se llevó a cabo un estudio llamado "Alliance" que analizó la viabilidad de la telespirometría en la práctica general en Italia, involucrando a 937 médicos generales (MG) y 51 neumólogos en centros distribuidos por todo el país. Los MG recibieron formación en diagnóstico, tratamiento y monitoreo del asma y la enfermedad pulmonar obstructiva crónica

(EPOC), así como en la realización e interpretación de espirometrías y telespirometrías. La telespirometría permite a los MG realizar espirometrías simples en sus consultorios usando un espirómetro portátil (Spirotel). Los resultados se transmiten a una Oficina Central de Telemedicina (OCT), donde un especialista pulmonar los interpreta y envía un informe al médico general. Este proceso, incluida la repetición de pruebas si es necesario, toma alrededor de 10 minutos. Durante dos años, se realizaron 20.757 telespirometrías, con un promedio de 22,2 pruebas por MG. La mayoría de los pacientes fueron reclutados en los primeros 14 meses del estudio. El 70% de las pruebas cumplió con los criterios de cooperación total o parcial, permitiendo detectar anomalías espirométricas en más del 40% de los casos. La tasa de telespirometrías no evaluables fue del 9,2%. Para evaluar la calidad de la telespirometría, se compararon 296 pruebas con los criterios de calidad recomendados para la espirometría de laboratorio (ATS) y de consultorio. Los resultados mostraron que la mayoría de las telespirometrías cumplían con los criterios ATS, con algunas desviaciones menores, y el 62,5% cumplía con los criterios principales de la espirometría de consultorio. El estudio concluyó que la telespirometría es una herramienta bien aceptada por los MG en Italia, permitiendo obtener resultados aceptables en un alto porcentaje de pacientes. Se considera una alternativa útil a la espirometría de consultorio para mejorar el manejo de las enfermedades respiratorias crónicas en la atención primaria (11).

Paralelamente Nowiński y equipo en 2015 realizaron un estudio piloto para evaluar la viabilidad de utilizar la transmisión de datos espirométricos a través de líneas telefónicas analógicas para la monitorización remota de la calidad de la espirometría. La espirometría, una prueba crucial para diagnosticar enfermedades

pulmonares, se ha extendido a la atención primaria, lo que ha generado preocupaciones sobre la calidad de las pruebas realizadas en entornos no especializados (12).

El estudio se llevó a cabo entre 2007 y 2008 en Polonia, utilizando el espirómetro portátil Spirotel, que permitía la transmisión de datos a través de módems analógicos. Se estableció una red de control de calidad con diez clínicas ambulatorias, algunas con experiencia en espirometría y otras sin ella, para enviar datos espirométricos semanalmente a un centro de control. Los médicos expertos analizaban los datos y proporcionaban retroalimentación a las clínicas (12).

Se recibieron un total de 878 registros de pruebas de espirometría, y la transmisión de datos fue 100% efectiva, aunque en algunos casos se requirieron retransmisiones. Sin embargo, la calidad de las pruebas fue variable, y solo una pequeña parte cumplía con los criterios básicos de calidad, como un número adecuado de maniobras de espiración forzada y un tiempo espiratorio forzado (FET) adecuado (12).

El sistema de telespirometría utilizado permitía evaluar parámetros gráficos de las pruebas, como las curvas de flujo-volumen y volumen-tiempo. Aunque el sistema no era totalmente compatible con los criterios de calidad de la Sociedad Torácica Americana (ATS) en ese momento, demostró ser una herramienta útil para la monitorización remota y la educación (12).

Los autores concluyeron que el uso de espirómetros con transferencia de datos para fines de capacitación es aconsejable y que la tecnología de transmisión a través de líneas telefónicas es fácil de implementar. Sin embargo, destacaron la importancia

de una formación presencial adecuada para los operadores de espirometría antes de implementar cualquier tecnología de telemedicina (11,12).

En general, el estudio demostró el potencial de la telemedicina para mejorar la calidad de la espirometría en entornos de atención primaria, pero también subrayó la necesidad de una formación adecuada para garantizar resultados fiables y precisos.

A pesar de que la espirometría ocupacional es una herramienta muy valiosa para la evaluación de la función pulmonar en el contexto laboral, presenta ciertas limitaciones; como, por ejemplo (13):

1. **Variabilidad Individual:** Los valores de referencia pueden variar según edad, sexo, altura y etnia, lo que dificulta la interpretación de resultados en algunos casos. De aquí se desprende la necesidad de proponer ecuaciones espirométricas predictivas para determinada población (habitantes en diversas alturas) o, en todo caso para grupos determinados (como grupos etarios, sexo). Como veremos más adelante los investigadores ocupacionales en nuestro país están preocupados por el tema y han empezado a conducir estudios que nos llevan a un buen abordaje del problema de la variabilidad tanto individual como poblacional.
2. **Esfuerzo y Técnica:** La precisión de la prueba depende en gran medida del esfuerzo y la técnica del individuo, lo que puede llevar a resultados inexactos si no se realiza correctamente. La conducción de las maniobras espirométricas por parte de personal muy capacitado es obligatoria ya que la aplicación de los criterios de calidad (aceptabilidad y reproducibilidad) es crítica.

3. **Factores Externos:** Enfermedades respiratorias preexistentes, tabaquismo, exposición reciente a irritantes y otros factores pueden influir en los resultados, dificultando la identificación de problemas específicamente relacionados con el trabajo. Estos factores pueden enmascarar la causa real de la disfunción pulmonar la construcción de una buena historia clínica e historial laboral es fundamental para minimizar el efecto de estos factores.
4. **Limitaciones en la Detección Temprana:** La espirometría puede no detectar cambios sutiles en la función pulmonar en etapas tempranas de enfermedades ocupacionales, lo que retrasa el diagnóstico y el tratamiento.
5. **No Reemplaza Otros Exámenes:** La espirometría es solo una herramienta de evaluación y no reemplaza la necesidad de otros exámenes médicos, como radiografías de tórax o pruebas de función pulmonar más completas, para un diagnóstico preciso.

Es fundamental tener en cuenta estas limitaciones al interpretar los resultados de la espirometría ocupacional y considerar la realización de pruebas adicionales si es necesario (13).

Si bien es cierto existen limitaciones para la espirometría ocupacional, no podemos minimizar la gran capacidad que posee esta herramienta como apoyo al diagnóstico de enfermedades pulmonares asociadas a la exposición laboral.

En resumen: El personal debe estar entrenado en la realización de espirometrías según las guías ATS/ERS. Utilice siempre equipos calibrados y realice las pruebas en condiciones óptimas, repitiendo las maniobras hasta obtener resultados consistentes. Interprete los resultados comparándolos con valores de referencia, identifique los patrones ventilatorios y comunique los hallazgos de manera clara.

Realice evaluaciones regulares para monitorear la función pulmonar de los trabajadores expuestos a riesgos respiratorios.

I.2. Las ecuaciones predictivas y su situación mundial

Las ecuaciones de predicción, también conocidas como ecuaciones de referencia, son fundamentales en la espirometría. Estas fórmulas permiten comparar los resultados obtenidos en la prueba de espirometría de un individuo con valores esperados ajustados según su edad, sexo, altura y etnia. Esto facilita la evaluación para determinar si la función pulmonar está dentro de los rangos normales o muestra alguna anomalía. Estas ecuaciones se derivan de estudios extensos que recopilan datos de individuos sanos, considerando variables demográficas y antropométricas como la edad, sexo, altura, peso y etnia, todas las cuales influyen significativamente en la capacidad pulmonar. Existen diversas ecuaciones de predicción adaptadas para diferentes contextos y poblaciones, como las desarrolladas por la Iniciativa Global para la Función Pulmonar (GLI), NHANES III y ERS/ATS. La selección adecuada de la ecuación depende de factores como la edad, sexo, etnia y la ubicación geográfica del individuo. La correcta aplicación de estas ecuaciones es esencial para interpretar con precisión los resultados de la espirometría y detectar posibles alteraciones en la función pulmonar que podrían no ser evidentes al considerar únicamente los valores absolutos obtenidos en la prueba. En síntesis, las ecuaciones de predicción en espirometría son herramientas críticas en el diagnóstico, seguimiento y tratamiento de enfermedades pulmonares. Permiten comparar la función pulmonar de un individuo con valores esperados según sus características particulares, proporcionando información clave para decisiones clínicas informadas y una atención médica de calidad (14,15,16,17,18,20,21).

A pesar de su amplia utilidad, las ecuaciones espirométricas no están exentas de limitaciones, especialmente en el contexto global. Estas limitaciones pueden afectar

la precisión de la interpretación de la espirometría y, por lo tanto, pueden tener implicaciones importantes en el diagnóstico, seguimiento y tratamiento de enfermedades pulmonares. Una de las limitaciones más importantes es la variabilidad poblacional, as ecuaciones espirométricas se han desarrollado a partir de estudios poblacionales específicos, generalmente en países desarrollados con poblaciones relativamente homogéneas en términos de factores demográficos, antropométricos y socioeconómicos. Sin embargo, en el mundo real, la población es mucho más diversa, con variaciones significativas en estas características entre diferentes regiones, grupos étnicos y niveles socioeconómicos (14, 17). Esta variabilidad poblacional puede afectar la precisión de las ecuaciones espirométricas, ya que no siempre toman en cuenta adecuadamente las características específicas de poblaciones diversas. Por ejemplo, las ecuaciones desarrolladas en poblaciones caucásicas pueden no ser precisas para individuos de otras etnias, como afrodescendientes o asiáticos, quienes pueden tener diferencias en la anatomía y fisiología pulmonar (15,16,18). Otra limitación importante es la falta de datos poblacionales representativos en muchos países. El desarrollo de ecuaciones espirométricas precisas requiere estudios poblacionales extensos que recopilen datos sobre la función pulmonar de individuos sanos. Sin embargo, en muchos países en vías de desarrollo, no existen estos datos o son de mala calidad, lo que dificulta la creación de ecuaciones de predicción locales que reflejen adecuadamente las características de la población. La ausencia de ecuaciones de predicción locales puede tener consecuencias significativas (16,18,20). En algunos casos, puede conducir al sobrediagnóstico de enfermedades pulmonares en individuos sanos, mientras que en otros casos puede ocasionar que se subestimen

las alteraciones de la función pulmonar, lo que retrasa o impide el diagnóstico oportuno de enfermedades. Además de la variabilidad poblacional y la falta de datos, existen otras limitaciones que afectan la aplicabilidad global de las ecuaciones espirométricas. Estas incluyen (3, 18,19):

- **Factores técnicos:** La disponibilidad y calidad de los equipos de espirometría pueden variar considerablemente entre diferentes países y regiones. Esto puede afectar la precisión de las mediciones espirométricas y, por lo tanto, la confiabilidad de los resultados.
- **Factores culturales:** Las normas y expectativas sociales relacionadas con la salud y la enfermedad pueden influir en la forma en que las personas interpretan los resultados de la espirometría. Esto puede generar dificultades en la comunicación entre pacientes y profesionales de la salud, lo que puede afectar la adherencia al tratamiento.
- **Factores económicos:** El acceso a la atención médica y a las pruebas diagnósticas, como la espirometría, puede estar limitado en países con bajos ingresos. Esto puede dificultar el diagnóstico y tratamiento de enfermedades pulmonares, especialmente en poblaciones vulnerables.

Por ejemplo; el Dr. Mark Fenton y su equipo condujeron un estudio en Canadá para establecer ecuaciones de referencia espirométricas para niños y adolescentes de las Primeras Naciones Cree en Canadá. Las ecuaciones de predicción espirométricas se utilizan para evaluar la función pulmonar en el entorno clínico, pero dichas ecuaciones no estaban disponibles para las poblaciones de las Primeras Naciones en Canadá. Los investigadores recolectaron datos espirométricos del Proyecto de Salud Pulmonar de las Primeras Naciones (FNLHP, por sus siglas en inglés).

Identificaron a 134 niños y adolescentes sanos no fumadores del estudio inicial y calcularon los valores predichos y el límite inferior de la normalidad (LIN) de los índices espirométricos para estos participantes. Los investigadores utilizaron una herramienta estadística llamada Modelo Aditivo Generalizado para Ubicación, Escala y Forma (GAMLSS, por sus siglas en inglés) para modelar las variables de la función pulmonar. Los resultados mostraron que los modelos derivados de GAMLSS pudieron capturar la relación no lineal entre la función pulmonar y las medidas antropométricas. Al compararlos con las ecuaciones derivadas para caucásicos, los investigadores encontraron que las ecuaciones derivadas para caucásicos no capturaron el cambio brusco en la función pulmonar durante la adolescencia. Esto sugiere que el uso de valores de referencia derivados de caucásicos para evaluar la función pulmonar de los niños y adolescentes de las Primeras Naciones puede no ser apropiado. Este estudio proporciona una base inicial para futuros estudios que buscan mejorar la precisión de los índices de función pulmonar predichos para niños y adolescentes de las Primeras Naciones Cree. Los hallazgos de este estudio se pueden utilizar para evaluar la función pulmonar y la respuesta al tratamiento en niños y adolescentes de las Primeras Naciones Cree hasta que se desarrollen otras ecuaciones (19).

En 2017 Ben Khalifa realiza la revisión "Ecuaciones de Referencia de Edad Pulmonar Espirométrica: Una Revisión Narrativa" (Spirometric Lung Age Reference Equations: A Narrative Review) ofrece un análisis detallado de las normas publicadas que predicen la edad pulmonar espirométrica (EPE) para adultos de 18 a 90 años. La revisión destaca la importancia de las normas de EPE en la evaluación de la función pulmonar y enfatiza la necesidad de normas específicas

por etnia para permitir predicciones precisas en diferentes poblaciones. El artículo revisa seis estudios que han publicado normas de EPE, cada uno con sus propias limitaciones y diseños de estudio. Estos estudios utilizaron diversas fuentes de datos, diseños de estudio y análisis estadísticos para desarrollar ecuaciones predictivas para calcular la EPE. La naturaleza retrospectiva y prospectiva de los estudios, junto con el uso de diferentes guías y equipos de espirometría, contribuyen a la diversidad en las normas de EPE presentadas en la literatura. Un aspecto clave destacado en la revisión es la importancia de considerar los efectos de cohorte y los sesgos de selección al interpretar las normas de EPE. La edad de las fuentes de datos utilizadas en los estudios, como los datos de NHANES-3 de 1999, plantea preocupaciones sobre la relevancia de ecuaciones predictivas más antiguas en la población actual. Se recomiendan estudios longitudinales y normas actualizadas derivadas de poblaciones relevantes para tener en cuenta cambios demográficos y ambientales con el tiempo. La revisión también aborda el tema del tamaño muestral en los estudios que desarrollan normas de EPE. Un estudio de Quanjer et al. (2011) sugiere que es necesario un mínimo de 300 sujetos, con una representación equilibrada de hombres y mujeres, para validar las normas y minimizar errores de muestreo. Además, la revisión enfatiza las implicaciones prácticas de las normas de EPE en entornos clínicos. Al utilizar las normas publicadas y ecuaciones predictivas, los proveedores de atención médica pueden calcular y comunicar la EPE de un paciente basándose en los resultados espirométricos. Esta información puede ser una herramienta valiosa para fomentar discusiones sobre el cese del tabaquismo y la salud pulmonar, así como para guiar intervenciones y estrategias de tratamiento. La revisión también destaca la importancia de considerar los

antecedentes locales y étnicos de los pacientes al aplicar las normas de EPE en la práctica. Se hacen recomendaciones para utilizar herramientas como el software Excel para simplificar el cálculo de las EPE y facilitar la comunicación con los pacientes. En conclusión, la revisión narrativa sobre ecuaciones de referencia de edad pulmonar espirométrica arroja luz sobre la importancia de las normas de EPE en la evaluación de la función pulmonar y en la promoción de discusiones sobre la salud respiratoria. Si bien los estudios existentes proporcionan ideas valiosas para predecir la EPE, existen limitaciones que deben abordarse, como los efectos de cohorte, los tamaños muestrales y la necesidad de normas actualizadas basadas en poblaciones relevantes. Al considerar estos factores y utilizar normas de EPE en la práctica clínica, los proveedores de atención médica pueden mejorar su capacidad para evaluar y manejar eficazmente la salud respiratoria (20).

Las diferencias entre resultados espirométricos inter poblacionales es, normalmente previsible debido a que la teoría indica que las ecuaciones de referencia en la espirometría se basan en **VARIABLES** como talla, peso, edad; e incluso según muchos autores la altura geográfica y la etnia del paciente; sin embargo, en cuanto la manera de establecer o determinar las variables que forman parte de la ecuación referencial de cierta población es distinta. La metodología estadística suele mandar que una determinación de peso de variables componentes de una ecuación predictiva se establezca mediante una regresión lineal, pero, sin desmerecer la utilidad de la regresión lineal, muchos investigadores han venido utilizando un método distinto: el lambda-mu-sigma. Este es el caso de Pefura-Yone que realizó el estudio "Equaciones de Referencia de Edad Pulmonar Espirométrica: Una Revisión Narrativa" del 2021; ofrece un análisis exhaustivo de las normas

publicadas que predicen la edad pulmonar espirométrica (EPE) para adultos entre 18 y 90 años. Este estudio subraya la importancia de estas normas en la evaluación de la función pulmonar y enfatiza la necesidad de normas específicas según la etnia para permitir predicciones precisas en diversas poblaciones. La revisión examina seis estudios que han publicado normas de EPE, cada uno con sus propias limitaciones y metodologías. Estos estudios emplearon diferentes fuentes de datos, diseños de estudio y análisis estadísticos para desarrollar ecuaciones predictivas que calculan la EPE. La variabilidad en las normas de EPE presentadas en la literatura se atribuye a la naturaleza tanto retrospectiva como prospectiva de estos estudios, además del uso de diversas guías y equipos de espirometría. Un punto crucial destacado en la revisión es la importancia de considerar los efectos de cohorte y los sesgos de selección al interpretar las normas de EPE. Por ejemplo, la edad de las fuentes de datos utilizadas en los estudios, como los datos del NHANES-3 de 1999, genera inquietudes sobre la relevancia de las ecuaciones predictivas más antiguas en la población actual. Se recomienda la realización de estudios longitudinales y la actualización de normas basadas en poblaciones pertinentes para abordar cambios demográficos y ambientales con el tiempo. Además, la revisión aborda la importancia del tamaño muestral en los estudios que desarrollan normas de EPE. En términos prácticos, la revisión enfatiza cómo las normas de EPE pueden aplicarse en entornos clínicos para calcular y comunicar la EPE de un paciente basándose en resultados espirométricos. Esta información es crucial para facilitar discusiones sobre la salud pulmonar y guiar intervenciones para el tratamiento y la prevención de enfermedades respiratorias, incluido el abandono del tabaquismo. En resumen, aunque los estudios existentes proporcionan información valiosa para

predecir la EPE, existen desafíos y limitaciones, como los efectos de cohorte y los tamaños muestrales, que deben abordarse. La actualización continua de normas basadas en poblaciones relevantes y la consideración de factores étnicos y locales son esenciales para mejorar la precisión y la aplicabilidad de las normas de EPE en la práctica clínica y la investigación futura (21).

En ese mismo camino, el estudio comparativo de valores de referencia espirométrica desde la infancia hasta la vejez realizado por Martínez-Briseño et al. (2021) se centra en analizar y comparar los valores de referencia de la función pulmonar en una población mexicana utilizando el método LMS y modelos de regresión lineal. Los investigadores recopilaron datos de 9,835 individuos sanos de la Ciudad de México, abarcando edades de 8 a 80 años, provenientes de varios estudios previos, como EMPECE, PLATINO, trabajadores adultos mexicanos y dos estudios no publicados. El objetivo principal del estudio fue analizar la evolución de la función pulmonar desde la infancia hasta la vejez, utilizando diferentes métodos de análisis estadístico para comparar los resultados obtenidos. Se emplearon ecuaciones de referencia continuas calculadas mediante el método LMS, que mostraron un ajuste ligeramente mejor que los modelos de regresión lineal estándar. Los investigadores encontraron que los residuos de los modelos LMS tenían una mediana más cercana a cero y una dispersión menor en comparación con el modelo lineal, aunque las diferencias, aunque estadísticamente significativas, eran de relevancia práctica cuestionable. En cuanto a los resultados, se observó que los valores espirométricos medios para una altura dada en la población estudiada eran superiores a los pronosticados por las ecuaciones internacionales de la Iniciativa Global de Función Pulmonar (GLI). Esto sugiere que existen diferencias

en los valores de referencia de la función pulmonar entre la población mexicana y las poblaciones internacionales utilizadas en las ecuaciones de la GLI. La importancia de este estudio radica en la necesidad de contar con valores de referencia precisos y específicos para cada población, ya que esto influye directamente en la interpretación adecuada de las pruebas de función pulmonar en la práctica clínica. Al comparar los resultados obtenidos con diferentes métodos de análisis, se destaca la importancia de utilizar técnicas como el método LMS para calcular ecuaciones de referencia continuas que abarquen todas las edades y eviten brechas en la transición entre la infancia y la edad adulta. En resumen, este estudio proporciona información valiosa sobre la variabilidad de los valores de referencia de la función pulmonar en una población mexicana a lo largo de diferentes etapas de la vida. Los hallazgos resaltan la importancia de utilizar métodos de análisis adecuados para obtener ecuaciones de referencia precisas, lo que puede contribuir a una mejor interpretación de los resultados de las pruebas de función pulmonar en diferentes grupos de edad (22).

Una de las variables más polémicas en su eso es la “raza” y debido a que la definición actual de raza se considera un constructo cuya categorización depende de múltiples características, como apariencia física, ascendencia genética, cultura, idioma y religión, se reconoce que tratar la raza como una variable biológica en algoritmos clínicos es inapropiado y no científicamente válido, ya que puede enmascarar parcialmente las diferencias en experiencias vividas y exposiciones que los afroamericanos han enfrentado durante siglos, para ello Sitaric a través de un estudio analiza el impacto de la corrección por raza en las pruebas de espirometría en niños preadolescentes negros y blancos, destacando la posible subestimación de

resultados anormales en niños negros debido a esta corrección. Se cuestiona el uso de la raza como sustituto de marcadores biológicos en la interpretación de pruebas de función pulmonar, enfatizando la necesidad de reconsiderar esta práctica. El estudio se basa en datos del estudio longitudinal WHEALS, que analiza cómo el ajuste por raza en las ecuaciones de referencia de espirometría afecta los resultados de las pruebas de función pulmonar en preadolescentes de Detroit y describe los síntomas de asma informados en niños negros clasificados de manera diferente según se utilicen ecuaciones corregidas o no por raza. Los resultados muestran diferencias significativas en la prevalencia de síntomas de asma y el control del asma entre niños afrodescendientes y blancos, lo que sugiere que la corrección por raza en las pruebas de espirometría puede influir en la interpretación clínica y en la identificación de niños en riesgo de enfermedades respiratorias. Este estudio plantea interrogantes sobre la validez y la equidad de la corrección por raza en las pruebas de función pulmonar, y destaca la necesidad de abordar los sesgos potenciales en la interpretación de resultados para mejorar la precisión diagnóstica en todos los niños, independientemente de su raza sugiriendo una revisión más profunda de cómo sr maneja actualmente para garantizar una atención médica equitativa y precisa para todos los pacientes pediátricos. En contraparte, un estudio americano analiza el uso de ecuaciones de referencia específicas por raza en la predicción de resultados de enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) y destaca la importancia de reconsiderar su utilidad en la práctica clínica. Actualmente, se utilizan ecuaciones de referencia específicas por raza para interpretar pruebas de función pulmonar, incluidas ecuaciones específicas para poblaciones blancas, negras y mexico-americanas, lo que puede llevar a una sub-diagnóstico y sub-

tratamiento en el asma. Estos ajustes también no consideran el impacto de determinantes sociales de la salud y exposiciones ambientales en la función pulmonar. El estudio cuestiona la forma en que se utilizan los ajustes basados en la raza en la espirometría, especialmente al considerar factores socioambientales que contribuyen al racismo estructural y su presunto efecto en la función pulmonar. A pesar de ajustar por enfermedades concomitantes y medidas de adversidad, la raza afroamericana se asoció con un menor FEV1, atribuido al racismo sistémico inherente que ha permeado la historia de Estados Unidos. Se destaca que, si bien el diagnóstico de EPOC se basa no solo en el FEV1 sino también en la relación FEV1/FVC, esta última se mantiene esencialmente independiente de la raza y la etnia. Por el contrario, en pacientes con asma, el uso de ajustes basados en la raza en el FEV1 puede afectar las pruebas de función pulmonar de manera más dramática, subestimando aún más la enfermedad y llevando a un diagnóstico tardío y un manejo menos agresivo. Se recomienda que las clasificaciones basadas en la raza en la espirometría son problemáticas y que las ecuaciones universales son superiores para explicar la carga de enfermedad en pacientes con EPOC en comparación con las ecuaciones específicas por raza. Se resalta la importancia de alentar a individuos, instituciones médicas, sociedades profesionales y organismos rectores a emplear los datos futuros para encontrar formas alternativas de interpretar los resultados de la espirometría que no perpetúen las disparidades en salud, como utilizar la ecuación de referencia de la Iniciativa Global Pulmonar y otros (GLI-O) para todos o crear nuevas medidas que incorporen la altura del tronco y factores socioambientales para uso clínico. En resumen, este estudio subraya la necesidad de reevaluar el uso de ecuaciones de referencia específicas por raza en la

interpretación de pruebas de función pulmonar, especialmente en el contexto de enfermedades respiratorias como la EPOC y el asma. Se sugiere que el cambio a ecuaciones universales podría mejorar la precisión en la predicción de resultados de EPOC y evitar posibles consecuencias no deseadas, como el sobre diagnóstico en individuos no blancos y su impacto en el acceso a terapias, empleo y discapacidad (23).

Ahora bien, si la raza es una variable "polémica"; muchos estudios se han centrado en diferenciar la propuesta de ecuaciones espirométricas por el sexo del paciente. Es así como en Portugal se lleva a cabo un estudio para establecer nuevos valores de referencia para la función pulmonar a través de pruebas de espirometría. Se encontró una relación positiva entre la altura y la capacidad vital forzada (CVF) en ambos sexos, destacando la altura como el predictor más significativo de la CVF, el volumen espiratorio forzado en el primer segundo (FEV1) y el flujo espiratorio forzado entre el 25% y el 75% de la CVF (FEF25-75) en los modelos utilizados. Aunque el peso y el índice de masa corporal no predijeron significativamente estos parámetros en niños, sí tuvieron un efecto notable en las ecuaciones para niñas en todos los parámetros de espirometría. El estudio subraya la importancia de contar con valores de referencia actualizados y específicos para la población portuguesa, ya que las ecuaciones existentes datan de más de dos décadas y provienen de poblaciones con características antropométricas, étnicas y socioeconómicas distintas. Se enfatiza que las características cambiantes de la población y los avances tecnológicos en equipos y técnicas hacen aún más crucial la necesidad de ecuaciones actualizadas y específicas. En conclusión, este estudio nos indica que con nuevos valores de referencia para la espirometría en pacientes sanos se mejora

la precisión en la interpretación de las pruebas de función pulmonar en un grupo demográfico; dejando entrever que las ecuaciones espirométricas deben ser llevadas a cabo también por grupos etarios debido a la variabilidad de la función pulmonar de acuerdo con la edad. Además, resalta la importancia de mantener actualizadas las ecuaciones de referencia conforme evolucionan las características de la población y la tecnología en el campo de la espirometría (15).

En Hispanoamérica se sigue el modelo de ecuaciones propuestas por NHANES III; sin embargo, se cuenta con una variable que influye fuertemente sobre la función pulmonar: la altitud; y que, al ser causante de falsos positivos, debe tomarse muy en cuenta. Teniendo presente lo mencionado, Quemba conduce una revisión sistemática en Colombia sobre los valores de referencia en espirometría en población que vive a más de 1500 m.s.n.m. Los estudios revisados abordan la variación de los valores de referencia de espirometría forzada en adultos en relación con la altitud, destacando diferencias significativas en función de aspectos fisiológicos y antropométricos. Se observa que los mecanismos que influyen en estos cambios son de naturaleza genética, molecular, fisiológica y anatómica, permitiendo compensar los efectos de la hipoxia aguda o crónica, lo que resulta en un aumento de la ventilación alveolar y de los valores espirométricos. La revisión sistemática revela que en alturas menores a 1500 m s. n. m. se utilizan valores de referencia de Crapo, Khudson, Hankinson, mientras que en alturas mayores se emplean ecuaciones de Nhannes III, Hedenstrom, Quanjer y de la Iniciativa Global de la Función Pulmonar (GLI). En estudios específicos, se evidencia que en alturas bajas los valores de CVF, VEF1 y su relación suelen ser mayores en hombres y mujeres, mientras que en altitudes mayores a 1500 m s. n. m. tienden a ser menores.

Además, se destaca que los valores de referencia de espirometría varían según la altitud, siendo más altos en alturas superiores a 1500 m s. n. m. y más elevados en hombres en comparación con mujeres. Existe heterogeneidad en los resultados y un riesgo de sesgo de publicación, lo que subraya la necesidad de contar con evidencias más amplias y contundentes en esta temática. En resumen, la variación de valores de referencia de espirometría forzada en adultos residentes sobre o bajo 1500 m s. n. m. se debe a factores fisiológicos, genéticos y anatómicos relacionados con la aclimatación a la altitud, lo cual influye en la capacidad pulmonar y los valores espirométricos (13).

Otro estudio realizado en Chile comparó la concordancia en la interpretación del patrón espirométrico y el grado de alteración entre las ecuaciones más utilizadas en Chile y las de la Global Lung Function Initiative (GLI). Se analizó la concordancia entre GLI con Gutiérrez 2014, Knudson y NHANES III mediante el coeficiente de concordancia Kappa en una muestra de 315 adultos mayores de 40 años. Los resultados mostraron una buena concordancia para el patrón espirométrico y el grado de alteración entre las ecuaciones utilizadas en Chile y las de GLI, tanto para sujetos sanos como para aquellos con enfermedades pulmonares, fumadores o exfumadores. Este estudio sugiere que adoptar las ecuaciones de GLI podría ser beneficioso para estandarizar la interpretación de las pruebas de función pulmonar en Chile y comparar los resultados a nivel mundial. Los resultados del estudio sugieren una buena concordancia en la interpretación del patrón espirométrico y el grado de alteración entre las ecuaciones utilizadas en Chile y las de GLI, que los resultados son válidos tanto para sujetos sanos como para aquellos con enfermedades pulmonares y que es de suma importancia el adoptar ecuaciones

estandarizadas para mejorar la comparabilidad a nivel mundial; también en Chile; a inicio del presente año, un estudio introduce nuevas ecuaciones para calcular valores espirométricos de referencia en adultos chilenos, destacando la importancia crucial de utilizar valores específicos de la población para interpretar correctamente los resultados de la espirometría. Según el estudio, las ecuaciones de referencia actuales no se adecúan adecuadamente a la población chilena, especialmente en individuos mayores de 65 años. Para abordar esta deficiencia, se llevó a cabo un análisis exhaustivo utilizando datos de cinco estudios que incluyeron tanto muestras poblacionales como voluntarios sanos, totalizando 1,174 sujetos de ambos sexos con detalladas características antropométricas y espirométricas. Los resultados obtenidos fueron comparados con las ecuaciones de referencia existentes, evidenciando que las nuevas ecuaciones propuestas muestran un ajuste significativamente mejor para la población adulta chilena. Esto subraya la necesidad de contar con valores de referencia precisos y específicos, especialmente en un contexto donde enfermedades respiratorias como la EPOC están en aumento entre los adultos mayores. Aunque se reconocen limitaciones en la metodología, como el uso de muestras de voluntarios sanos, se considera aceptable su aplicación para obtener los valores espirométricos de referencia. Las nuevas ecuaciones de referencia fueron desarrolladas a partir de datos específicos de la población chilena, representando un avance significativo para la práctica clínica en Chile. Se recomienda enfáticamente su adopción como las nuevas referencias estándar para la interpretación de los resultados de la espirometría en adultos chilenos. Esto se respalda con la conclusión de que estas ecuaciones ofrecen un ajuste superior y son más adecuadas para evaluar la función pulmonar en la población adulta del país. En

síntesis, el estudio presenta nuevas ecuaciones de referencia espirométrica basadas en datos específicos de adultos chilenos, mejorando sustancialmente la precisión y relevancia clínica respecto a las ecuaciones existentes. Este avance representa un paso importante hacia la personalización de la medicina respiratoria en Chile, asegurando que las prácticas de evaluación pulmonar sean más efectivas y pertinentes para la población local (18).

Torres Boscoulet plantea en México la adopción de las ecuaciones de NHANES III para su población teniendo como referencia también al estudio PLATINO. El estudio PLATINO se centró en evaluar los valores de referencia espirométrica en cinco grandes ciudades de Latinoamérica para individuos de 40 años o más. Se incluyeron 5,315 participantes mayores de 40 años, de los cuales 906 fueron utilizados para generar los valores de referencia. Estos participantes nunca habían fumado, carecían de síntomas respiratorios o enfermedades pulmonares diagnosticadas. Se llevaron a cabo espirometrías utilizando un espirómetro con tecnología ultrasónica, siguiendo procedimientos de control de calidad respaldados por organizaciones especializadas. Los resultados mostraron diferencias en los valores esperados y observados según la ecuación utilizada, lo que afecta la precisión de las mediciones de FEV1 y FVC. Las ecuaciones NHANES III y PLATINO se recomendaron como las más adecuadas para poblaciones específicas. Se observaron variaciones en los valores de referencia según la ecuación aplicada, con diferencias menores a 100 ml consideradas como un buen ajuste. Además, se analizó la proporción de sujetos por debajo del percentil 5 en FEV1 y FVC, mostrando variaciones significativas entre las diferentes ecuaciones de referencia utilizadas (24).

En cuanto a la edad, el artículo de Gutierrez en Chile introduce nuevas fórmulas para calcular valores espirométricos de referencia en adultos chilenos, resaltando la importancia crucial de utilizar valores específicos de la población para una interpretación precisa de los resultados de la espirometría. De acuerdo con la investigación, las ecuaciones de referencia actualmente utilizadas no se ajustan adecuadamente a la población chilena, especialmente en personas mayores de 65 años; para ello se realizó un análisis utilizando datos de cinco estudios que incluyeron muestras poblacionales y voluntarios sanos, con un total de 1,174 participantes de ambos sexos, lo que incluye la certeza de que el sexo es una variable a tener muy en cuenta, detalladamente caracterizados en términos antropométricos y espirométricos. Los resultados fueron comparados con las ecuaciones de referencia vigentes, demostrando que las nuevas ecuaciones propuestas muestran un ajuste significativamente superior para la población adulta chilena. Esto subraya la necesidad de contar con valores de referencia precisos, especialmente en un contexto donde enfermedades respiratorias como la EPOC están incrementando entre los adultos mayores. Aunque existen limitaciones en la metodología, como el uso de muestras de voluntarios sanos, se considera aceptable su aplicación para obtener los valores de referencia espirométricos. Las nuevas ecuaciones de referencia fueron desarrolladas con base en datos específicos de la población chilena, representando un avance significativo para la práctica clínica en el país, recomendando su adopción como los nuevos estándares de referencia para la interpretación de los resultados de la espirometría en adultos chilenos. Esto se respalda con la conclusión de que estas ecuaciones ofrecen un ajuste superior y son más apropiadas para evaluar la función pulmonar en la población adulta nacional.

En resumen, el estudio presenta nuevas ecuaciones de referencia espirométrica basadas en los datos específicos de adultos chilenos, mejorando sustancialmente la precisión y relevancia clínica en comparación con las ecuaciones actualmente utilizadas. Este avance representa un paso importante hacia la personalización de la evaluación pulmonar en Chile, asegurando que las prácticas clínicas sean más efectivas y adecuadas para la población local.

En vista de estas limitaciones, es necesario realizar esfuerzos para mejorar la aplicabilidad global de las ecuaciones espirométricas. Esto incluye:

- **Promover estudios poblacionales:** Se necesitan estudios poblacionales extensos en diferentes regiones del mundo para recopilar datos sobre la función pulmonar y desarrollar ecuaciones de predicción más precisas y representativas.
- **Desarrollar tecnologías accesibles:** Se deben desarrollar tecnologías de espirometría más accesibles y asequibles para facilitar el acceso a la prueba en países con bajos ingresos.
- **Fortalecer la capacitación y la educación:** Es necesario fortalecer la capacitación de los profesionales de la salud en la interpretación de la espirometría, considerando las limitaciones de las ecuaciones y las características de las poblaciones locales.
- **Promover la investigación:** Se debe fomentar la investigación para desarrollar nuevas metodologías de evaluación de la función pulmonar que complementen la espirometría y sean más sensibles a las características de poblaciones diversas (18).

En conclusión, las ecuaciones espirométricas son herramientas valiosas para la evaluación de la función pulmonar, pero es importante reconocer sus limitaciones a nivel mundial. Para mejorar la aplicabilidad global de estas ecuaciones, es necesario realizar esfuerzos para abordar las limitaciones mencionadas y promover un enfoque más equitativo y justo en la evaluación y el tratamiento de las enfermedades pulmonares a nivel global.

I.3. Situación en el Perú

Como se aprecia en el capítulo anterior, existen variables que determinan la formulación de una ecuación predictiva de valores espirométricos, y estas variables a su vez; dependen de otros factores pues no es lo mismo formular una ecuación predictiva a una mujer de 20 años, 157 centímetros de altura que vive a 100 metros sobre el nivel del mar que, a un varón de 57 años, 172 centímetros de altura que vive a 2430 metros sobre el nivel del mar. Estas variaciones suelen encontrarse en países con una variedad geográfica y cultural muy marcada como es el caso del Perú.

El Perú geográficamente es muy diverso, presentando altitudes que van desde los 6 metros sobre el nivel del mar en Tumbes hasta los 5100 metros sobre el nivel del mar en Puno; ante ello se vienen realizando diversos estudios para establecer la necesidad de proponer ecuaciones espirométricas predictivas para las diversas regiones del país.

El Dr. Alberto Hurtado hace una revisión muy certera sobre el estudio de la influencia de la altura en el hombre, y destaca la importancia de la aclimatación y la tolerancia a las condiciones geográficas y climáticas variables en el continente americano. Se menciona la cultura de los Incas como ejemplo de adaptación a la altitud, evidenciando su avanzada organización social y su capacidad para compensar los efectos ambientales adversos. La hipoxia, causada por la falta de oxígeno en altitudes superiores a 3,000 metros, es un fenómeno que afecta a millones de personas y puede resultar en enfermedades graves como el soroche y el edema pulmonar. Los habitantes de altura muestran adaptaciones fisiológicas notables, como una mayor ventilación pulmonar y factores que favorecen el

intercambio gaseoso entre aire y sangre. Estas adaptaciones les permiten mantener una eficiente actividad mental y física, contrarrestando los efectos negativos de la altitud en el organismo. A pesar de los avances en la investigación de este campo, aún existen cuestiones sin resolver, especialmente en relación con los procesos que ocurren en diferentes etapas de la vida, como la infancia, la niñez, la vejez y el envejecimiento. La historia nos muestra opiniones divergentes sobre la capacidad de los habitantes de altura, desde descripciones de "marcada debilidad" hasta estudios que refutan estas afirmaciones y destacan la capacidad mental y física de estas poblaciones. La obra de investigadores como Herrera y Vergara Lope ha contribuido a desafiar percepciones erróneas y a resaltar las capacidades de adaptación de los habitantes de altura. En conclusión, la influencia de la altura en el hombre es un tema complejo que involucra aspectos fisiológicos, culturales e históricos. Comprender cómo el cuerpo humano se adapta a las condiciones de altitud y logra mantener un equilibrio armonioso con su entorno es fundamental para la salud y el bienestar de las poblaciones que habitan en regiones elevadas. Investigar y profundizar en este tema es crucial no solo para la medicina y la fisiología, sino también para la exploración de nuevas fronteras, como la vida en el espacio, donde la altitud y la falta de oxígeno plantean desafíos similares a los encontrados en el mundo (25).

Lo descrito por el Dr. Hurtado en los años setenta es reafirmado un artículo en el 2012 por el Dr. Dante Peñaloza, discípulo de Hurtado y quien fuera uno de los más estudiosos sobre el mecanismo de hipertensión pulmonar hipóxica crónica. Este artículo señala los efectos de la exposición a grandes alturas en la circulación

pulmonar en tres situaciones: hipoxia crónica, hipoxia aguda e hipoxia subaguda (26).

Hipoxia crónica:

- **Nativo normal de grandes alturas:** Estudios en comunidades andinas a 4540 msnm han demostrado que los nativos sanos presentan hipertensión pulmonar (HP) asintomática leve a moderada. Esto se debe a un engrosamiento de la capa media de células musculares lisas en las pequeñas arterias pulmonares, que aumenta la resistencia vascular pulmonar. Aunque la HP persiste en la edad adulta, los nativos de grandes alturas pueden realizar actividad física similar a los residentes a nivel del mar.
- **Mal de montaña crónico (MMC):** Algunos residentes de grandes alturas pierden su capacidad de adaptación y desarrollan MMC. Esto se debe a una reducción de la ventilación alveolar, que provoca hipoxemia, policitemia exagerada y HP acentuada. El MMC puede ser primario (relacionado con la edad) o secundario a enfermedades pulmonares, obesidad y apnea del sueño. El tratamiento ideal es el descenso a nivel del mar, pero también se utilizan terapias paliativas como sangrías y medicamentos.

Hipoxia aguda:

- **Mal de montaña agudo:** Los residentes a nivel del mar que ascienden a altitudes medianas o grandes pueden experimentar mal de montaña agudo, con síntomas como cefalea, trastornos del sueño y mareos. La causa principal es la hipoxemia, y el tratamiento incluye la administración de oxígeno y el descenso a altitudes más bajas.

- **Edema pulmonar por ascenso a altura (EPAA):** En casos graves, la hipoxia aguda puede provocar EPAA, una condición potencialmente mortal caracterizada por hipertensión pulmonar severa y aumento de la permeabilidad en la membrana alveolocapilar. El EPAA ocurre en individuos susceptibles con exagerada reactividad arterial pulmonar a la hipoxia. El tratamiento incluye oxígeno, óxido nítrico y fármacos vasodilatadores.

Hipoxia subaguda:

- **Mal de montaña subagudo infantil:** Esta condición afecta a niños que nacen a nivel del mar y luego son trasladados a grandes alturas, donde desarrollan HP severa e insuficiencia cardiaca. Se debe a una excesiva vasorreactividad a la hipoxia y se caracteriza por una hipertrofia ventricular derecha masiva y un engrosamiento de la capa media de células musculares lisas en las arterias pulmonares. El tratamiento consiste en trasladar a los niños a lugares de menor altitud (26).

Información que hace que tener en cuenta a la altura como variable no sea una recomendación sino una necesidad.

La prueba de lo anteriormente mencionado se comprueba en estudio realizado en Junín, Perú, a una altitud de 4105 metros sobre el nivel del mar, se centró en la realización de pruebas de espirometría en voluntarios nativos de la región, con una permanencia mínima en esa altitud hasta los 20 años y edades comprendidas entre los 20 y 40 años. El objetivo principal fue determinar la capacidad vital forzada (CVF) por medio de la espirometría en esta población específica. Los resultados revelaron que los valores de CVF y VEF1 (volumen espiratorio forzado en el primer

segundo) eran mayores en los habitantes de altura en comparación con los valores de referencia establecidos para poblaciones a nivel del mar. Este hallazgo sugiere la necesidad de ajustar los valores de referencia utilizados en las pruebas de función pulmonar para tener en cuenta las adaptaciones fisiológicas y anatómicas que se producen en individuos que viven en altitudes elevadas. La tabla propuesta de valores de porcentajes de predicho en la altura podría ser una herramienta útil para la detección temprana de enfermedades pulmonares y la estimación de su gravedad en poblaciones de altura. Se destacó la importancia de considerar el origen geográfico de los individuos en la interpretación de los resultados de las pruebas pulmonares, especialmente en contextos de altitud. El estudio también resaltó las diferencias significativas en la función pulmonar entre los habitantes de altura y aquellos que viven a nivel del mar. Se hace hincapié sobre las adaptaciones fisiológicas que experimentan las personas que residen en altitudes elevadas, como la mayor capacidad pulmonar para compensar la menor presión de oxígeno en el aire. Estas adaptaciones pueden influir en los valores de CVF y VEF1 obtenidos en las pruebas de espirometría, lo que subraya la importancia de establecer valores de referencia específicos para poblaciones de altura. En conclusión, el estudio proporcionó información valiosa sobre la función pulmonar en habitantes de altura y la necesidad de considerar las particularidades de estas poblaciones al interpretar los resultados de las pruebas de espirometría. La propuesta de nuevos valores de CVF y VEF1 para habitantes de altura podría contribuir a una mejor evaluación de la salud pulmonar en estos contextos y mejorar la detección y manejo de enfermedades respiratorias en estas poblaciones específicas (27).

Otro estudio que nos pone sobre la mesa la influencia de la altitud sobre la formulación de ecuaciones espirométricas; el estudio CRONICAS en Puno, Perú, a 3,825 metros sobre el nivel del mar, formó parte de la investigación en curso de CRONICAS que se centra en enfermedades crónicas no transmisibles en cuatro entornos peruanos distintos. En este estudio se explicó el mismo a los participantes verbalmente en español, aymara o quechua debido a las bajas tasas de alfabetización. Los participantes del estudio fueron equipados con dispositivos de grabación que incluían un oxímetro de pulso que generaba una serie continua de valores a una frecuencia de muestreo de 1 Hz. Se utilizó un oxímetro colocado en el dedo índice derecho para monitorear la saturación de oxihemoglobina (SpO2). Un estudio experimental cruzado evaluó el efecto de las maniobras posturales en la SpO2, donde los participantes permanecieron en postura supina o sentados erguidos en una silla durante 15 minutos en cada postura. Los resultados mostraron que la SpO2 fue mayor en la postura erguida en comparación con la supina, con una diferencia promedio en la SpO2 entre posturas. Este hallazgo sugiere que la postura puede influir en la saturación de oxihemoglobina en habitantes de gran altitud en Perú. Se observó una disminución en la SpO2 al cambiar de la postura erguida a la supina en un sujeto, lo que respalda la importancia de la postura en la oxigenación en este contexto. En conclusión, el estudio destaca la relevancia de la postura en la saturación de oxihemoglobina en poblaciones de gran altitud, lo que podría tener implicaciones en la calidad del sueño y la oxigenación nocturna. Los cambios posturales pueden desempeñar un papel crucial en la regulación de la oxigenación en entornos de altitud elevada, lo que sugiere la importancia de considerar la postura en la gestión de la hipoxemia en estas poblaciones. Estos hallazgos podrían tener

implicaciones prácticas en la atención médica y el manejo de enfermedades crónicas en contextos de gran altitud, destacando la relevancia de abordar factores ambientales y fisiológicos en la salud de las poblaciones de altura (28).

El estudio titulado “Factores asociados a la variación de valores espirométricos en trabajadores a gran altura” se enfoca en analizar la evolución de los valores espirométricos en trabajadores mineros expuestos a diferentes altitudes. Los autores buscaron identificar cómo variables como el género, la edad, el tipo de trabajo y la altitud influyen en los parámetros espirométricos. Los resultados revelan un aumento en la capacidad vital forzada (CVF) y el volumen espiratorio forzado al primer segundo (VEF1) en hombres, así como una disminución de estos valores con la edad. Además, se observa que el índice Tiffeneau disminuye a medida que aumenta la edad de los trabajadores. El análisis realizado destaca la importancia de considerar variables socio-antropométricas y el tipo de trabajo al estudiar la variación de los valores espirométricos en entornos de gran altitud. Se evidencia que los trabajadores expuestos a alturas significativas presentan valores espirométricos notablemente diferentes a los de la población residente en zonas a nivel del mar, con diferencias significativas entre géneros. Asimismo, se observa que el envejecimiento influye en la función y volumen pulmonar, lo que puede atribuirse a cambios fisiológicos asociados con la edad, como la pérdida de fuerza muscular y limitaciones en la capacidad de movimiento. El estudio también señala limitaciones, como la falta de ajuste por variables relevantes como el hábito tabáquico, que podrían influir en los resultados. Se destaca la necesidad de realizar más investigaciones longitudinales para comprender mejor los cambios fisiológicos que ocurren en trabajadores expuestos a altitudes elevadas. Los hallazgos sugieren

que los marcadores de obstrucción bronquial no presentan conclusiones definitivas, lo que resalta la complejidad de los efectos de la altitud en la función pulmonar. En conclusión, el estudio resalta la importancia de considerar múltiples factores al analizar la variación de los valores espirométricos en trabajadores expuestos a gran altitud. Los resultados obtenidos proporcionan información valiosa sobre cómo variables como el género, la edad y el tipo de trabajo pueden influir en la función pulmonar en entornos de altitud elevada. Estos hallazgos abren la puerta a futuras investigaciones que permitan profundizar en la comprensión de los efectos de la altitud en la salud respiratoria de los trabajadores (29).

En el 2020 Llanos condujo un estudio que tuvo como objetivo principal establecer valores de referencia para espirometría y desarrollar una ecuación predictiva para los valores espirométricos en una población económicamente activa que reside en regiones con altitudes de 0 a 100 metros sobre el nivel del mar. Este estudio se realizó en un centro médico ocupacional durante el periodo de noviembre de 2019 a marzo de 2020. En este estudio se buscó proporcionar datos actualizados y específicos sobre los valores espirométricos en una población determinada, lo cual es crucial para la correcta interpretación de las pruebas de función pulmonar en el contexto de la medicina ocupacional. La formulación de ecuaciones predictivas específicas permite una mejor evaluación de la salud respiratoria, adaptada a las características demográficas y antropométricas de la población. Con un diseño, se analizaron historias clínicas de pacientes que acudieron a exámenes médicos ocupacionales, asegurándose de que cumplían con los criterios de inclusión: hombres y mujeres de entre 18 y 65 años, residentes en la región de estudio durante al menos un año, con radiografías de tórax y exámenes físicos respiratorios

normales. Se excluyeron aquellos con antecedentes de consumo de tabaco, enfermedades pulmonares, diabetes, obesidad, delgadez extrema, y otras condiciones que pudieran afectar los resultados espirométricos. Los datos fueron recolectados de historias clínicas electrónicas y analizados utilizando el software SPSS. Las variables consideradas incluían la Capacidad Vital Forzada (CVF) y el Volumen Espiratorio Forzado en el primer segundo (VEF1), además de factores sociodemográficos y antropométricos como sexo, edad, peso y altura. Debido a la limitada cantidad de datos femeninos, el análisis se centró en la población masculina. La edad media de los pacientes fue de 37.9 años, con un peso medio de 69.73 kg y una altura media de 163.2 cm. Los resultados indicaron que las ecuaciones para CVF y VEF1 eran altamente confiables, mostrando diferencias menores a 100 mL respecto a los valores reales, con medias de diferencias de 66 mL para CVF y 59 mL para VEF1. Al final de la investigación se concluye que los valores de referencia para la espirometría en la población masculina económicamente activa, a una altitud de 0-100 m s. n. m., están dentro de los rangos normales esperados, con un margen de error aceptable del 5%, que las ecuaciones predictivas desarrolladas permiten predecir adecuadamente los valores espirométricos, considerando variables como edad, talla y altitud y que se proporcionan herramientas valiosas para la práctica de la espirometría en evaluaciones médicas ocupacionales, mejorando la precisión de los diagnósticos y el monitoreo de la salud respiratoria, recomendando la implementación de estas ecuaciones predictivas en centros médicos ocupacionales y la realización de investigaciones adicionales para validar y mejorar las ecuaciones en diferentes poblaciones y condiciones geográficas. Se destaca la importancia de ajustar los

valores de referencia y las ecuaciones predictivas a las características específicas de cada población, lo que contribuirá a una mejor atención médica y a la promoción de la salud en el ámbito ocupacional (30). En ese sentido, el Dr. Miguel Pretell realiza un estudio que tuvo como objetivo determinar los valores de referencia de espirometría en la población masculina activa en regiones de 0-100 metros sobre el nivel del mar. Se llevó a cabo un diseño descriptivo de corte transversal, utilizando historias clínicas de pacientes que se sometieron a exámenes médicos ocupacionales entre noviembre 2019 y marzo 2020. Se aplicaron criterios de inclusión y exclusión, y se recolectó la información de los registros electrónicos de un centro médico ocupacional. Se seleccionaron 1134 historias clínicas, de las cuales 1052 correspondían a hombres y 82 a mujeres. Se trabajó únicamente con la población masculina para formular y comprobar una ecuación predictiva. Las variables consideradas en el estudio fueron la edad, peso, talla, altitud geográfica, capacidad vital forzada y volumen espiratorio forzado en el primer segundo. Se utilizó un análisis de regresión lineal múltiple para formular la ecuación. Los resultados mostraron que los valores de referencia para la capacidad vital forzada estuvieron entre 3.48 y 5.47, y para el volumen espiratorio forzado en el primer segundo entre 2.83 y 4.41. Se encontró una buena confiabilidad en las ecuaciones predictivas desarrolladas. El estudio proporciona una ecuación predictiva específica para la población masculina económicamente activa de la macrorregión norte del Perú, tomando en cuenta variables sociodemográficas y antropométricas. La ecuación propuesta puede ser utilizada en la práctica diaria de espirometrías en evaluaciones médicas ocupacionales, mejorando la precisión y relevancia de los diagnósticos espirométricos en esta población. En conclusión, se lograron

establecer valores de referencia de espirometría en la población masculina activa en regiones de baja altitud geográfica. La tesis concluye que es posible formular ecuaciones predictivas específicas y confiables para valores espirométricos en poblaciones económicamente activas a diferentes altitudes, lo que puede contribuir significativamente a la medicina ocupacional y a la salud pública en regiones específicas, sugiriendo la implementación de estas ecuaciones en centros médicos ocupacionales y la realización de estudios adicionales para validar y mejorar las ecuaciones predictivas para diferentes poblaciones y condiciones geográficas (31). Las conclusiones de ambos estudios nos permiten deducir la importancia de realizar este tipo de trabajo diferenciando tanto el sexo del paciente como la altitud de la ciudad en donde se trabaja. Si a estos estudios de altura, le agregamos el peso o el índice de masa muscular las cosas se complican un poco como lo demuestra Córdova en su estudio "Valores espirométricos en pobladores de altura con sobrepeso" que tuvo como objetivo principal analizar los valores espirométricos (VE) en personas con sobrepeso que residen en altitudes elevadas, y compararlos con los valores predeterminados obtenidos de ecuaciones basadas en la población méxico-americana. La espirometría es crucial para evaluar la función pulmonar y diagnosticar enfermedades respiratorias, mediante la comparación de los VE obtenidos con valores de referencia. En Perú, se utilizan las ecuaciones de la población méxico-americana para determinar estos valores, ya que no existen ecuaciones específicas para la población peruana. El estudio se realizó en Huancayo, una ciudad ubicada a 3249 metros sobre el nivel del mar, con una presión barométrica de 535 mmHg. La investigación fue descriptiva, correlacional y retrospectiva, analizando 338 espirometrías de personas clínicamente sanas, de 20

a 40 años, con sobrepeso (definido por un índice de masa corporal, IMC, entre 25 y 29.99 kg/m²), realizadas entre febrero de 2017 y enero de 2018. Los resultados mostraron que los VE promedio obtenidos en la población estudiada eran superiores al 110% de los valores predeterminados basados en las ecuaciones méxico-americanas. Se identificó una correlación negativa entre los VE y el IMC, indicando que a medida que el IMC aumenta, los VE tienden a disminuir. El estudio concluye que los VE de las personas con sobrepeso que viven en altitudes elevadas son mayores que los valores predeterminados para la población méxico-americana. Esto sugiere la necesidad de ajustar los valores de referencia utilizados para la población peruana de altura con sobrepeso, debido a la influencia significativa de la altitud en los VE. Estos hallazgos pueden mejorar el manejo de patologías respiratorias en esta población específica, evitando diagnósticos incorrectos. La importancia de este estudio radica en la demostración de que las ecuaciones de referencia deben adaptarse a las características específicas de cada población (31). Ajustar los valores espirométricos a las condiciones de altura y sobrepeso podría mejorar la precisión diagnóstica y el tratamiento de las enfermedades respiratorias en estas regiones. El hecho de que en este estudio se haya utilizado ecuaciones de referencia extraídas de la encuesta NHANES III sólo ratifica la necesidad de proponer nuevas ecuaciones para poblaciones en áreas geográficas determinadas dependiendo de su altitud, sexo y edad e incluso hasta la etnia (32).

La poca información con la que se cuenta hace que tengamos que hacer uso de ecuaciones que se diseñaron para cierto tipo de poblaciones, las mismas que difieren totalmente de la población peruana y que, al comparar pudieran ajustarse en ciertos casos, pero la gran pregunta es: ¿Podrían hacerlo en ciudades como Puno? ¿Cerro

de Pasco? ¿San Marcos en Ancash? Una comparación entre pobladores de Lima y de Huancayo se realizó en el 2017, este estudio tuvo como objetivo determinar si los volúmenes y capacidades pulmonares difieren entre los habitantes de Huancayo, que viven a gran altitud (más de 3000 msnm), y aquellos que viven a nivel del mar. Además, se buscó verificar si las curvas de normalidad del estudio NHANES III (realizado en México y Estados Unidos) se aplican a la población peruana. Se realizó un estudio descriptivo, comparativo y transversal en Huancayo y Lima. Se incluyeron 400 participantes, 200 hombres y 200 mujeres, de entre 18 y 30 años, todos nativos de su respectiva región y sin enfermedades preexistentes. Se excluyeron individuos con antecedentes de enfermedades pulmonares o cardiovasculares. Los resultados mostraron que tanto hombres como mujeres que viven a más de 3000 msnm tienen una mayor capacidad vital forzada (CVF) y un mayor volumen espiratorio forzado en el primer segundo (VEF1) en comparación con aquellos que viven a nivel del mar. Específicamente, los habitantes de Huancayo mostraron un aumento del 13.5% y 14% en CVF para hombres y mujeres, respectivamente, y un aumento del 12.6% y 14% en VEF1 para hombres y mujeres, respectivamente. Sin embargo, la relación VEF1/CVF (un indicador de la función pulmonar) fue similar en ambos grupos, y también similar a los valores teóricos del estudio NHANES III. Esto sugiere que, aunque los habitantes de altura tienen mayores volúmenes pulmonares, la proporción entre VEF1 y CVF se mantiene constante. La discusión del estudio destaca que los valores de referencia para la espirometría, una prueba que mide los flujos y volúmenes respiratorios, se han establecido a partir de estudios en poblaciones relativamente saludables. Sin embargo, estos valores pueden no ser aplicables a poblaciones que viven a gran

altitud, como la peruana, debido a posibles modificaciones anatómicas y variaciones en los volúmenes pulmonares. El estudio concluye que los habitantes de altura tienen una mayor CVF y VEF1 que aquellos que viven a nivel del mar, pero la relación VEF1/CVF es similar en ambos grupos. Estos hallazgos tienen implicaciones importantes para el diagnóstico de enfermedades pulmonares en poblaciones de altura, ya que los valores normales pueden ser diferentes a los de las poblaciones que viven a nivel del mar. En resumen, este estudio proporciona evidencia de que los volúmenes pulmonares son mayores en personas que viven a gran altitud, lo que podría deberse a adaptaciones fisiológicas a la menor concentración de oxígeno en el aire. Sin embargo, la relación entre VEF1 y CVF parece ser similar en diferentes altitudes, lo que sugiere que la función pulmonar general se mantiene constante a pesar de las diferencias en los volúmenes pulmonares absolutos. Estos hallazgos tienen implicaciones importantes para la interpretación de las pruebas de función pulmonar en poblaciones de altura y podrían ayudar a mejorar el diagnóstico y tratamiento de enfermedades respiratorias en estas poblaciones (33).

La edad y el Índice de masa corporal son, dependiendo de la zona y población de estudio, dos de las variables que más peso estadístico suelen mostrar al momento de proponer una ecuación espirométrica predictiva y un estudio que se realizó a una altitud de 4750 msnm en trabajadores de una empresa minera peruana, con el objetivo de describir la función mecánica respiratoria en relación con la edad en trabajadores mineros lo demuestra. Se incluyeron 300 trabajadores, en su mayoría hombres (97.6%), con una edad promedio de 42.79 años para los hombres y 30 años para las mujeres. La mayoría de los participantes (62.33%) tenían sobrepeso y el

13.33% eran obesos. Se excluyeron trabajadores con antecedentes de cirugías recientes, patologías pulmonares preexistentes o espirometrías que no cumplían con los criterios de calidad. Los datos se obtuvieron de los exámenes médicos ocupacionales y se analizaron utilizando pruebas estadísticas como la prueba t para muestras independientes y la correlación de Pearson. Los resultados mostraron que los valores de capacidad vital forzada (CVF) y volumen espiratorio forzado en el primer segundo (VEF1) fueron mayores en los trabajadores que residían a más de 2500 msnm en comparación con los que vivían a menor altitud. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas en otros parámetros espirométricos como la relación VEF1/CVF, el flujo espiratorio máximo (PEF) y el flujo espiratorio forzado entre el 25% y el 75% de la capacidad vital (FEF 25-75%). En cuanto a la relación entre la función pulmonar y la edad, se observó una disminución progresiva de la CVF, VEF1, VEF1/CVF, PEF y FEF 25-75% a medida que aumentaba la edad. Esta tendencia es consistente con estudios previos y sugiere que el envejecimiento afecta la función pulmonar, incluso en trabajadores adaptados a la vida en altura. Al comparar los resultados de este estudio con valores de referencia de otras poblaciones, se encontró que los trabajadores mineros a gran altitud tenían valores de CVF y VEF1 más altos que los de poblaciones a nivel del mar y similares a los de otras poblaciones andinas. Sin embargo, los valores fueron menores en comparación con estudios previos en mineros a altitudes ligeramente inferiores (4100 msnm). El estudio también analizó la relación entre los valores espirométricos y el índice de masa corporal (IMC). Se encontró que la mayoría de los trabajadores tenían sobrepeso u obesidad, lo que podría tener implicaciones para su salud respiratoria a largo plazo. En conclusión, este estudio proporciona

información valiosa sobre la función pulmonar en trabajadores mineros que laboran a gran altitud. Los resultados sugieren que la adaptación a la altura puede influir en los valores espirométricos, pero el envejecimiento y el IMC también son factores importantes que considerar. Es importante destacar que este estudio tiene limitaciones, como el tamaño de la muestra relativamente pequeño y la falta de información sobre otros factores que podrían influir en la función pulmonar, como el tabaquismo y la exposición a contaminantes laborales. Se necesitan más investigaciones para comprender completamente los efectos de la altitud, el envejecimiento y otros factores en la salud respiratoria de los trabajadores mineros (34).

A pesar de estas limitaciones, este estudio contribuye al conocimiento sobre la función pulmonar en poblaciones que trabajan en condiciones de gran altitud. Los resultados pueden ser útiles para establecer valores de referencia específicos para esta población y para desarrollar estrategias de prevención y detección temprana de enfermedades respiratorias en trabajadores mineros.

Un estudio realizado por José Arturo Rosales Bonilla en 2017-2018 en Arequipa, Perú, se enfocó en analizar los valores de espirometría en trabajadores varones del rubro minero atendidos en un centro médico ocupacional. Se seleccionaron 10,781 registros de espirometrías que cumplían con los criterios de calidad establecidos por NIOSH. Los resultados mostraron que la media de la Capacidad Vital Forzada (CVF) fue de 5.2 +/- 0.8 L, la del Volumen Espiratorio Forzado en el primer segundo (VEF1) fue de 4.2 +/- 0.6 L, y la razón entre ambos fue del 81.7% +/- 5.4%. Se observó que tanto la CVF como el VEF1 disminuyeron en promedio en 0.02 L (20 ml) ajustados por la estatura de los trabajadores. Sin embargo, se

encontró que, por cada unidad de aumento en la estatura en centímetros, la CVF y el VEF1 aumentaban en promedio 0.05 L (50 ml) y 0.04 L (40 ml) respectivamente. Esto sugiere una relación positiva entre la estatura de los trabajadores y sus valores de espirometría, con un incremento progresivo en los mismos con relación a la talla. Las conclusiones del estudio indicaron que los registros de espirometría de los trabajadores varones del rubro minero en Arequipa experimentaron un aumento por encima de lo esperado, mostrando una tendencia al alza en sus valores con relación a la estatura. Estos hallazgos son relevantes en el ámbito de la salud ocupacional, ya que sugieren que la estatura de los trabajadores puede influir en sus capacidades respiratorias medidas a través de la espirometría. El estudio contribuye al conocimiento sobre la salud respiratoria de los trabajadores del rubro minero, destacando la importancia de considerar factores como la estatura al interpretar los resultados de las pruebas de función pulmonar. Además, al cumplir con las recomendaciones de calidad de NIOSH en la selección de los registros de espirometría, se garantiza la fiabilidad de los datos analizados. En resumen, el estudio de José Arturo Rosales Bonilla proporciona información valiosa sobre los valores de espirometría en trabajadores varones del rubro minero en Arequipa, Perú, entre 2017 y 2018. Los resultados resaltan la influencia positiva de la estatura en la CVF y el VEF1, así como un aumento progresivo en los valores de espirometría con relación a la talla de los trabajadores. Estos hallazgos pueden ser útiles para mejorar las estrategias de salud ocupacional y el monitoreo de la función pulmonar en este grupo de trabajadores (35).

El Perú es un país multi étnico, con prevalencia de una autopercepción de mestizo de más del 60% de la población peruana de acuerdo con el XII Censo de

Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas o Censo peruano de 2017, esto podría indicar una necesidad de establecer una ecuación espirométrica predictiva para cada individuo de acuerdo con la autopercepción étnica de ellos lo que haría imposible el trabajo de los médicos ocupacionales en el Perú.

Cómo se ha explicado, la diversidad geográfica del Perú nos dirige a formular diversos estudios cuyo objetivo debería ser la formulación de ecuaciones espirométricas predictivas. Los estudios previamente señalados han demostrado que las ecuaciones usadas por la encuesta NHANES III en los Estados Unidos de América, así como en México son reproducibles con baja significancia estadística o con un análisis estadístico que arroja o bien una sobre estimación de los valores reales o una subestimación de estos.

La necesidad de la realización de mayores estudios radica en la importancia de la espirometría, no solo ocupacional, dentro del área de la salud. La influencia de las variables que aportan cambios en el resultado debe ser determinada ya que la omisión de una de ellas puede conllevar a un resultado erróneo lo que traería consecuencias no solo en el ámbito de la salud sino en el económico.

II. CONCLUSIONES

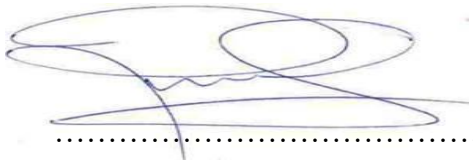
II.1. La espirometría ocupacional ha sido y es una herrramienta valiosa en las enfermedades ocupacionales que afecta los pulmones.

II.2. Las ecuaciones espirométricas y los valores de referencia deben estar adecuadas a la realidad de la población (edad, sexo, talla, etc) y localidad (altura geográfica) donde se realza la prueba, existe suficiente información que avala dicha afirmación.

II.3. En el mundo, se ha entendido lo anterior y es por eso que es muy común tener ecuaciones espirométricas por país o por regiones, etnia, sexo, edad, talla.

III. RECOMENDACIONES

III.1. Realizar estudios a nivel nacional para establecer las variables a usar y determinar las ecuaciones espirométricas específicas a las poblaciones y regiones del Perú para una correcta aplicación de la prueba de espirometría.



……

Roger Catalan Cámara

IV. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1) Centro Nacional de Salud Ocupacional y Protección del Ambiente para la Salud. Guía Técnica para realizar Espirometría Ocupacional (GEMO-006). 1ra Ed. Lima. 2008.
2) Beeckman-Wagner L. Garantía de calidad de la espirometría: Los errores más comunes y su impacto en los resultados de la prueba. USA. 2012.
3) OSHAS. Spirometry Testing in Occupational Health Programs: Best Practices for Healthcare Professionals. Washington. 2013
4) Benítez-Pérez RE, Torre-Bouscoulet L, Villca-Alá N, Del-Río-Hidalgo RF, Pérez-Padilla R, Vázquez-García JC, et al. Espirometría: recomendaciones y procedimiento. Neumol Cir Torax. 2016;75(2).
5) Santiani J. Diagnóstico de enfermedades neumológicas asociadas al Trabajo. Tesis de Maestría. Lima. UPCH. 2024.
6) Rivero-Yeverino Daniela. Espirometría: conceptos básicos. Rev. alerg. Méx. [revista en la Internet]. 2019 Mar [citado 2024 Jul 05] ; 66(1): 76-84. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-91902019000100076&lng=es. https://doi.org/10.29262/ram.v66i1.536.
7) Organización Internacional del Trabajo. Lista de Enfermedades Ocupacionales (revisión 2010). Ginebra. 2010
8) Resolución Ministerial 480-2008. Ministerio de Salud del Perú. Diario Oficial “El Peruano”. 17 de julio de 2008

9) San Martin V. Evaluation of the acceptability, reproducibility and quality of spirometry performed in an adult pneumology service. An Fac Cienc Méd (Asunción). 30 de abril de 2018;51(1):29-36.

10) Berresheim H, Beine A, Van Kampen V, Lehnert M, Nöllenheidt C, Brüning T, et al. ATS/ ERS spirometry quality criteria in real life. Results of two occupational field studies. Respiratory Physiology & Neurobiology. septiembre de 2023;315:104094.

11) Bonavia M, Averame G, Canonica W, Cricelli C, Fogliani V, Grassi C, et al. Feasibility and validation of telespirometry in general practice: The Italian "Alliance" study. Respiratory Medicine. noviembre de 2009;103(11):1732-7.

12) Nowiński A, Romański E, Bieleń P, Bednarek M, Puścińska E, Goljan-Geremek A, et al. Pilot Program on Distance Training in Spirometry Testing—The Technology Feasibility Study. Advances in Respiratory Medicine. 10 de noviembre de 2015;83(6):431-5.

13) Quemba Mesa MP, Valero Ortiz AS, Roa Cubaque MA. Valores de referencia de espirometría forzada de adultos residentes sobre o bajo 1500 m s.n.m.: revisión sistemática. revsal [Internet]. 12 de abril de 2023 [citado 5 de julio de 2024];55(1). Disponible en: https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistasaluduis/article/view/13129

14) Dreyse D. J, Gil D. R. Ecuaciones de referencia para informe de espirometrías. ¿Será tiempo de adoptar las ecuaciones de la Global Initiative for Lung Function? Rev chil enferm respir. marzo de 2020;36(1):13-7.

15) Martins C, Severo M, Silva D, Barros H, Moreira A. Development and validation of predictive equations for spirometry in Portuguese children. Journal of Allergy and Clinical Immunology: Global. mayo de 2023;2(2):100084.

16) Gólczewski T. Spirometry: A Comparison of Prediction Equations Proposed by Lubiński for the Polish Population with Those Proposed by the ECSC/ERS and by Falaschetti et al. Advances in Respiratory Medicine. 21 de diciembre de 2011;80(1):29-40.

17) Garcia-Rio F. Spirometric reference equations for European females and males aged 65-85 yrs. European Respiratory Journal. 1 de septiembre de 2004;24(3):397-405.

18) Gutiérrez D M, Valdivia D G, Villarroel D L, Contreras T G, Cartagena S C, Lisboa B C. Proposición de nuevas ecuaciones para calcular valores espirométricos de referencia en población chilena adulta: Sociedad Chilena de Enfermedades Respiratorias (SER). Rev méd Chile. febrero de 2014;142(2):143-52.

19) Fenton M, Zahan R, Khan S, Rennie D, Karunanayake C, Dosman J, et al. Spirometric reference equations for cree first nations children and adolescents living in rural Saskatchewan, Canadá. Chest. Octubre de 2018;154(4):974A.

20) Khelifa MB, Salem HB, Sfaxi R, Chatti S, Rouatbi S, Saad HB. “Spirometric” lung age reference equations: A narrative review. Respiratory Physiology & Neurobiology. enero de 2018;247:31-42.

21) Pefura-Yone EW, Balkissou AD, Poka-Mayap V, Djenabou A, Massongo M, Ofimboudem NA, et al. Spirometric reference equations for Cameroonians aged 4 to 89 years derived using lambda, mu, sigma (LMS) method. BMC Pulm Med. diciembre de 2021;21(1):344.

22) Martínez-Briseño D, Gochicoa-Rangel L, Torre-Bouscoulet L, Cid-Juárez S, Fernández-Plata R, Martínez-Valdeavellano L, et al. Comparing Spirometric Reference Values From Childhood to Old Age Estimated by LMS and Linear Regression Models. Archivos de Bronconeumología. Marzo de 2021;57(3):172-8.

23) Sitarik AR, Wegienka G, Johnson CC, Joseph CLM. Impact of Spirometry Race-Correction on Preadolescent Black and White Children. The Journal of Allergy and Clinical Immunology: In Practice. octubre de 2023;11(10):3097-106.

24) Torre-Bouscoulet L, Pérez-Padilla R, Vázquez-García JC, Franco- Marina F, Sánchez-Gallén E, Corcho-Verdugo A, et al. Ajuste de varias ecuaciones de referencia espirométrica a una muestra poblacional en México. Salud Publica Mex. 2006;48(6):466-73. doi: 10.1590/s0036-36342006000600004.

25) Hurtado DA. LA INFLUENCIA DE LA ALTURA SOBRE EL HOMBRE'. BOLETIN DE LA OFICINA SANITARIA PANAMERICANA.

26) Penaloza D. Efectos de la exposición a grandes alturas en la circulación pulmonar. Revista Española de Cardiología. diciembre de 2012;65(12):1075-8.

27) Valenzuela Bejarano MA, Ramos Martínez E. Medición de la Capacidad Vital Forzada por espirometría en habitantes adultos naturales de Junín (4105 m. s. n. m.). Enfer tórax (Lima). 2004;149-56.

28) Arias RS, Etienne B, Polotsky VY, Checkley W, Schwartz AR, Pham LV. Upright posture increases oxyhemoglobin saturation in Peruvian highlanders. Respiratory Physiology & Neurobiology. agosto de 2019;266:138-43.

29) Mejia CR, Cárdenas MM, Cáceres OJ, Verastegui-Diaz A, Gomero-Cuadra R, Mejía CR. Factores asociados a la variación de valores espirométricos en trabajadores a gran altura. 2020;29Córdova Córdova EG, Rojas Palpán FG, Mujica Albán E. Valores espirométricos en pobladores de altura con sobrepeso. An Fac med. 30 de diciembre de 2018;79(4):288.

30) Llanos-Salcedo C, Muñoz-Farfán K, Maguiña JL. Valores referenciales de los parámetros espirométricos en trabajadores sanos de diferentes niveles de altitud en el Perú. Acta Med Peru [Internet]. 30 de diciembre de 2020 [citado 5 de julio de 2024];37(4). Disponible en: https://amp.cmp.org.pe/index.php/AMP/article/view/1061

31) Pretell Cabrera MA, Astete Cornejo J. Ecuación de referencia espirométrica en varones de 2 regiones del norte peruano ubicadas entre 0 a 100 metros sobre el nivel del mar: Estudio transversal. Acta Med Peru [Internet]. 2 de diciembre de 2023 [citado 16 de junio de 2024];40(3). Disponible en: https://amp.cmp.org.pe/index.php/AMP/article/view/2695

32) Córdova Córdova EG, Rojas Palpán FG, Mujica Albán E. Valores espirométricos en pobladores de altura con sobrepeso. An Fac med. 30 de diciembre de 2018;79(4):288.

33) Canaviri Mauricio V, Canaviri Mauricio H. DETERMINATION AND COMPARISON OF PULMONARY VOLUMES BETWEEN POPULATIONS LIVING AT THE SEA LEVEL AND MORE THAN 3000 MSNM. RFMH [Internet]. julio de 2018 [citado 5 de julio de 2024];18(3). Disponible en: http://revistas.urp.edu.pe/index.php/RFMH/article/view/1592

34) Casanova A. Alteraciones espirométricas en personas con sobrepeso u obesidad en ausencia de enfermedad respiratoria actual y antecedentes respiratorios previos. BVS. 2007.

35) Rosales J. Estudio de los valores de espirometría en trabajadores varones del rubro minero de un centro médico ocupacional en la ciudad de Arequipa-Perú, 2017-2018. Tesis de Maestría. UCSUR. 2020