



# Espirometría: actualización del procedimiento y perspectivas pospandemia

## Spirometry: update of the procedure and post pandemic perspectives

Rosaura Esperanza Benítez-Pérez,\* Arturo Cortés-Telles,† Érika Meneses-Tamayo,\* Mónica Silva-Cerón,\* Rodrigo Francisco del Río-Hidalgo,§,¶ Sergio Monraz-Pérez,\* Mabelle González-Castellanos,\* Robert Camargo-Ángeles,¶ Luis Torre-Bouscoulet,|| Juan Carlos Vázquez-García,\* Rogelio Pérez-Padilla,\* Laura Gochicoa-Rangel\*||

\*Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias Ismael Cosío Villegas. Ciudad de México, México; †Hospital Regional de Alta Especialidad de la Península de Yucatán. México; §Hospital Regional «Dr. Valentín Gómez Farías», ISSSTE. Guadalajara, Jalisco, México; ¶Atención Integral Respiratoria Especializada. Guadalajara, Jalisco, México; ||Instituto de Desarrollo e Innovación en Fisiología Respiratoria. Ciudad de México, México.

**RESUMEN.** La espirometría es la prueba de función respiratoria más utilizada y estandarizada. En el año 2019, la Sociedad Americana del Tórax y la Sociedad Respiratoria Europea actualizaron los lineamientos internacionales para su ejecución. La pandemia de COVID-19 ha obligado a establecer mejores parámetros de bioseguridad y ha renovado el interés por la medicina respiratoria en el mundo, incluyendo la evaluación funcional. El presente manuscrito es una propuesta de procedimiento de espirometría ajustado a los cambios e incorpora recomendaciones y sugerencias para países con recursos limitados.

**Palabras clave:** espirometría, función pulmonar, capacidad vital, obstrucción bronquial.

### Abreviaturas:

ATS/ERS = American Thoracic Society/European Respiratory Society.  
 COVID-19 = enfermedad por coronavirus 2019.  
 EOFE = fin de la exhalación forzada (*end of forced expiration*).  
 EOTV = volumen al final de la espiración (*end of test volume*).  
 F/V = flujo/volumen.  
 FET = tiempo de espiración forzada (*forced expiration time*).  
 FEV<sub>1</sub> = volumen espiratorio forzado en un segundo.  
 FVC = capacidad vital forzada (*forced vital capacity*).  
 FIVC = capacidad vital forzada inspiratoria (*forced inspiratory vital capacity*).

**ABSTRACT.** Spirometry is the most widely used and standardized respiratory function test. In 2019, the American Thoracic Society and the European Respiratory Society updated the international guidelines for its execution. The COVID-19 pandemic forced the establishment of better biosafety parameters and has renewed interest in respiratory medicine in the world, including physiological evaluation. The present manuscript summarizes these changes incorporating recommendations and suggestions for countries with limited resources.

**Keywords:** spirometry, lung function, vital capacity, bronchial obstruction.

IC = capacidad inspiratoria (*inspiratory capacity*).  
 PEF = flujo espiratorio máximo (*peak expiratory flow*).  
 RV = volumen residual (*residual volume*).  
 SVC = capacidad vital lenta (*slow vital capacity*).  
 TLC = capacidad pulmonar total (*total lung capacity*).  
 V/T = volumen/tiempo.

### INTRODUCCIÓN

La espirometría forzada es una prueba de función respiratoria que evalúa componentes de la mecánica pulmonar.

### Correspondencia:

**Dra. Laura Gochicoa-Rangel**

Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias Ismael Cosío Villegas. Ciudad de México, México.

**Correo electrónico:** gochis@dr.com

Recibido: 21-VIII-2023; aceptado: 15-IX-2023.

**Citar como:** Benítez-Pérez RE, Cortés-Telles A, Meneses-Tamayo É, Silva-Cerón M, del Río-Hidalgo RF, Monraz-Pérez S et al. Espirometría: actualización del procedimiento y perspectivas pospandemia. Neumol Cir Torax. 2023; 82 (2):104-124. <https://dx.doi.org/10.35366/115397>

Mide el máximo volumen de aire que un individuo puede inspirar y espirar, de manera forzada, en función del tiempo.<sup>1-3</sup>

Las principales variables que se miden en la espirometría forzada son: la capacidad vital forzada (FVC, por sus siglas en inglés), que es el máximo volumen de aire medido en litros, que se puede exhalar por la boca con el máximo esfuerzo después de una inspiración completa; y el volumen espiratorio forzado en un segundo (FEV<sub>1</sub>), que es el volumen de aire exhalado durante el primer segundo de la maniobra de FVC.<sup>1-3</sup>

La relación FEV<sub>1</sub>/FVC, expresada como porcentaje del valor absoluto, es la variable definitoria de obstrucción, ya que representa una reducción desproporcionada del máximo FEV<sub>1</sub> de una maniobra forzada en relación con el volumen total que un sujeto puede exhalar durante la maniobra de FVC. Por lo tanto, un cociente FEV<sub>1</sub>/FVC disminuido implica limitación al flujo aéreo, es decir, obstrucción de las vías aéreas durante la exhalación.<sup>2</sup>

Otras variables espirométricas que se abordan brevemente en este documento son el FEV<sub>0.5</sub> y el FEV<sub>0.75</sub>, que representan el volumen espiratorio forzado en la fracción de segundo especificada,<sup>1,4</sup> así como la capacidad vital lenta (SVC) que es el máximo volumen de aire medido en litros, que se puede exhalar por la boca de manera relajada después de una inspiración completa.<sup>1</sup>

El objetivo de este documento es ajustar el procedimiento de espirometría de acuerdo con las nuevas recomendaciones publicadas en el estándar ATS/ERS de espirometría forzada de 2019,<sup>1</sup> así como los retos y protocolos asumidos en su ejecución a raíz de la pandemia de COVID-19.<sup>5</sup>

## INDICACIONES

La espirometría es una prueba fundamental en la evaluación respiratoria.<sup>1</sup> Las indicaciones se muestran en la *Tabla 1*, se han actualizado de acuerdo con la evidencia actual sobre la utilidad de la prueba en múltiples escenarios.

## CONTRAINDICACIONES<sup>1</sup>

La maniobra de FVC incrementa directamente la presión intratorácica e indirectamente la intraabdominal e intracranal, además el esfuerzo físico realizado puede incrementar la demanda miocárdica. Por lo tanto, los riesgos potenciales al realizar una espirometría forzada se deben al impacto de estos cambios en los órganos torácicos, abdominales, el retorno venoso y la presión arterial. El estándar internacional de espirometría<sup>1</sup> establece que no existen contraindicaciones absolutas para realizar una espirometría forzada y que su ejecución dependerá del riesgo-beneficio de realizar la prueba.

Los pacientes con contraindicaciones deben evaluarse, idealmente, en un laboratorio de función pulmonar por personal experto. En algunas ocasiones se puede realizar una espirometría lenta para conocer la capacidad vital del sujeto, aunque el resultado no es intercambiable. Es importante también, que el paciente sea cooperador y siga instrucciones a fin de evitar maniobras submáximas. La aparición de dolor, presíncope o malestar durante la ejecución de la prueba es criterio de suspensión de ésta.

Las contraindicaciones, todas relativas, se muestran en la *Tabla 2*.

## RECURSOS MATERIALES

### Espírometro

Es un equipo que registra los volúmenes ventilatorios fisiológicos, en el rango de la capacidad vital, así como el flujo generado por ellos a través de un sensor.<sup>27</sup>

El documento ATS/ERS 2019<sup>1</sup> establece que estos equipos deben cumplir con los requerimientos mínimos de la última actualización a la norma ISO: 26782,<sup>27</sup> los cuales se resumen a continuación:

1. Rango de medición de 0 a 8 litros, en condiciones BTPS (*Body Temperature and Pressure and Saturated*).
2. Error máximo permisible en la medición de volúmenes de  $\pm 3\%$  o 0.050 L (el que resulte superior).
3. Registro de tiempo espiratorio mínimo de 15 segundos.
4. Gráficos en tiempo real con una relación para el gráfico de F/V (flujo/volumen) de 2 L/s: 1 L y para el gráfico de V/T (volumen/tiempo) de 1 L:1 s.
5. Registro del volumen extrapolado, así como el volumen al final de la exhalación forzada (para identificar los criterios de inicio y término).
6. Impedancia del equipo, con todos sus accesorios, menor a 0.15 kPa/(L/s) con flujos de hasta 14 L/s.
7. Contar con una estación meteorológica para medición de la temperatura, la cual debe tener una exactitud de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  para que calcule adecuadamente el factor de corrección BTPS; en caso de que no cuente con estación meteorológica, el cálculo del factor de corrección a unidades BTPS tendrá que realizarse manualmente.
8. Ecuaciones de referencia adecuadas para la población.<sup>3</sup>
9. Visualización en tiempo real de los gráficos F/V y V/T al momento de realizar las maniobras.<sup>1</sup>
10. El informe generado debe de contar con ambos gráficos (F/V y V/T) por cada una de las maniobras realizadas; se recomienda una escala de volumen  $\geq 10 \text{ mm/L}$  y de tiempo  $\geq 20 \text{ mm/s}$ .<sup>3</sup>

Los espirómetros volumétricos han caído en desuso y actualmente predominan los espirómetros de flujo,

**Tabla 1:** Indicaciones de la espirometría.**Diagnóstica<sup>1</sup>**

- **En sospecha de EPOC:**
  - Presencia de FEV<sub>1</sub>/FVC posbroncodilatador < LIN o puntuación Z con síntomas y factores de riesgo<sup>6,7</sup>
- **En sospecha de asma:**
  - Ayuda durante el proceso diagnóstico documentar FEV<sub>1</sub>/FVC por debajo del LIN, especialmente si revierte posbroncodilatador. También un aumento de > 400 mL posbroncodilatador en FEV<sub>1</sub> o FVC
  - La espirometría (o PEF) repetida en ambientes ocupacionales puede sugerir asma ocupacional que empeora en el trabajo y mejora fuera del trabajo
  - Si el FEV<sub>1</sub> aumenta más de 12% y 200 mL del valor prebroncodilatador o con respecto al basal después de cuatro semanas de tratamiento antiinflamatorio<sup>8</sup>
  - En sospecha de asma grave, uno de los criterios es la presencia de FEV<sub>1</sub> prebroncodilatador < 80% pred (o ≤ 1.64 en puntuación Z)<sup>9</sup>
- **En sospecha de otra patología respiratoria con uno o más de los siguientes datos:**<sup>1</sup>
  - Síntomas: disnea, tos, sibilancias, estridor
  - Signos: estertores, deformidad torácica
  - Estudios de gabinete y laboratorio anormales: hipoxemia, hipercapnia, policitemia, radiografía de tórax anormal
- **Evaluación del impacto pulmonar de una enfermedad sistémica:**<sup>1</sup>
  - En todo paciente con sospecha de enfermedad pulmonar intersticial
  - En todo paciente con enfermedad neuromuscular y sospecha de debilidad de músculos respiratorios (la SVC puede ser mejor indicador de debilidad muscular respiratoria que la FVC ya que no se afecta por la coexistencia de obstrucción al flujo aéreo)<sup>10,11</sup>
  - La diferencia > 10% en la FVC realizada en posición sedente-supino (delta de FVC) sugiere debilidad diafragmática; la parálisis diafragmática unilateral puede presentar delta entre 15-25% y la bilateral hasta de 50%<sup>12</sup>
- **Escrutinio:**
  - No está indicada en el tamizaje de sujetos asintomáticos sin factores de riesgo<sup>13,14</sup>
  - Sí está indicada en la búsqueda intencionada de casos: presencia de síntomas o signos respiratorios y factores de riesgo (> 35 años e índice tabáquico > 10 p-a, exposición laboral u ocupacional a biomasa o sustancias tóxicas)<sup>15</sup>
  - La disminución del FEV<sub>1</sub> es un factor de riesgo cardiovascular independiente de la edad, el sexo y el tabaquismo<sup>16</sup>
- **Evaluación de riesgo preoperatorio:**<sup>1,17</sup>
  - Las pruebas de función respiratoria no han demostrado ser superiores a la anamnesis y exploración física en predecir complicaciones pulmonares posquirúrgicas en ausencia de síntomas y factores de riesgo
  - Realizar en sospecha de enfermedad pulmonar sin diagnóstico previo y en procedimientos cercanos al diafragma (cirugía torácica o de abdomen superior)
  - Indispensable antes de cirugía de resección y trasplante pulmonares

**Seguimiento<sup>1</sup>**

- **Respuesta a intervenciones terapéuticas en enfermedades pulmonares**
- **Pronóstico de enfermedades pulmonares ya diagnosticadas:**<sup>1</sup>
  - En EPOC, por lo menos una vez al año para identificar a los «declinadores rápidos» (caída de FEV<sub>1</sub> > 50-90 mL/año)<sup>7,18</sup>
  - En asma, al inicio del tratamiento, entre 3 a 6 meses después de alcanzar el control (mejor función pulmonar) y periódicamente<sup>8</sup>
  - La presencia de FEV<sub>1</sub> < 60% pred y/o respuesta muy significativa al BD en pacientes asmáticos (aún asintomáticos o con pocos síntomas) son factores de riesgo para crisis<sup>8</sup>
  - En FQ, al inicio del tratamiento y cada 3 meses para identificar el patrón de caída de la función pulmonar<sup>19</sup>
  - La presencia de FEV<sub>1</sub> persistentemente < 40% pred en pacientes con FQ es un criterio de enfermedad pulmonar avanzada<sup>20</sup>
  - En neumopatías intersticiales (de cualquier etiología) al menos durante los primeros 2 años del diagnóstico, ya que identifica fenotipo fibrosante progresivo: caída en la FVC ≥ 10% o caída en la FVC entre 5 y 10% y empeoramiento de síntomas respiratorios y/o extensión de la fibrosis en la TACAR<sup>21</sup>
  - En distrofias musculares; si el paciente aún camina y es < 12 años, se recomienda anual. Si el paciente es > 12 años, usa silla de ruedas o tiene una FVC < 80% pred, se recomienda cada 6 meses. (La FVC < 40% pred es indicación de maniobras de reclutamiento de volumen y tos asistida y FVC < 30% pred de uso de ventilación mecánica no invasiva)<sup>22-24</sup>
- **Evaluación del estado funcional durante y después de una exacerbación de la enfermedad pulmonar subyacente:**<sup>1</sup>
  - La presencia de FEV<sub>1</sub> < 60% pred en un paciente con crisis asmática después de 48 horas del ajuste de inhaladores es indicación de inicio de OCS<sup>8</sup>
- **Monitorización laboral de sujetos expuestos a agentes nocivos:**<sup>1</sup>
  - Se recomienda al ingreso y posteriormente anual. Una caída excesiva del FEV<sub>1</sub> identificada por alguno de los siguientes métodos: % respecto al basal (> 15%), límite del declinar longitudinal o regresión lineal sugiere una evaluación más detallada del trabajador<sup>18</sup>
- **Durante o después del uso de fármacos con toxicidad pulmonar conocida:**
  - Pacientes en régimen de quimioterapia (bleomicina, gemcitabina, paclitaxel, platino, ciclofosfamida, doxorubicina). La presencia de patrón espirométrico sugerente de restricción suele presentarse en casos avanzados por lo que se sugiere realizar DLCO seriada en conjunto con la espirometría<sup>25</sup>

Continúa **Tabla 1:** Indicaciones de la espirometría.

|  |
|--|
| <b>Evaluación de discapacidad<sup>1</sup></b>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Ingreso a programas de rehabilitación</li> <li>◦ Evaluación inicial por aseguradoras ante riesgo de patología respiratoria</li> <li>◦ Evaluación inicial de la salud pulmonar en ocupaciones físicamente demandantes</li> <li>◦ Peritajes médico-legales</li> </ul>   |
| <b>Otros<sup>1</sup></b>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Investigación clínica</li> <li>◦ Estudios epidemiológicos</li> <li>◦ Generación de ecuaciones de referencia poblacionales</li> <li>◦ Evaluación del estado de salud antes de actividad física intensa</li> <li>◦ Evaluación respiratoria rutinaria general</li> </ul> |

EPOC = enfermedad pulmonar obstructiva crónica. FEV<sub>1</sub> = volumen espiratorio forzado en el primer segundo. FVC = capacidad vital forzada. pred = predicho. SVC = capacidad vital lenta. p-a = paquetes año. BD = broncodilatador. FQ = fibrosis quística. TACAR = tomografía de alta resolución. OCS = corticosteroides orales. DLCO = difusión pulmonar de monóxido de carbono. LIN = límite inferior de la normalidad.

**Tabla 2:** Contraindicaciones relativas de la espirometría.<sup>1</sup>

|  |
|--|
| <b>Por aumento en la demanda miocárdica o cambios en la presión arterial</b>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• IAM: una semana previa*</li> <li>• Hipotensión sintomática</li> <li>• Hipertensión grave (PAM &gt; 130 mmHg)<sup>26</sup></li> <li>• Arritmia auricular o ventricular no controlada</li> <li>• Insuficiencia cardíaca descompensada</li> <li>• Hipertensión pulmonar no tratada</li> <li>• <i>Cor pulmonale</i> agudo</li> <li>• TEP agudo</li> <li>• Antecedentes de síncope por tos o por esfuerzo</li> </ul> |
| <b>Por aumento de la presión intracraneal/intraocular</b>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aneurisma cerebral</li> <li>• Cirugía craneal o cerebral: cuatro semanas*</li> <li>• Contusión craneal reciente con síntomas persistentes</li> <li>• Cirugía ocular: una semana*</li> </ul>   |
| <b>Por aumento de la presión intraóptica</b>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cirugía de senos paranasales o del oído medio: una semana*</li> <li>• Infección óptica: una semana*</li> </ul>  |
| <b>Por aumento de la presión intratorácica e intraabdominal</b>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Neumotórax no resuelto</li> <li>• Cirugía torácica: cuatro semanas*</li> <li>• Cirugía abdominal: cuatro semanas*</li> <li>• Embarazo tardío</li> </ul>   |
| <b>Control de infecciones</b>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Infección respiratoria activa confirmada o sospechada (COVID-19, tuberculosis u otras)</li> <li>• Condiciones físicas que predisponen a la transmisión de infecciones (hemoptisis activa, presencia de secreciones importantes, lesiones orales o sangrado oral activo)</li> </ul>  |

IAM = infarto agudo al miocardio. PAM = presión arterial media. TEP = tromboembolismo pulmonar.

\* En los eventos agudos no es recomendable realizar la espirometría forzada.

que miden la velocidad de desplazamiento del aire y calculan el volumen mediante integración. Estos espirómetros son portátiles, fáciles de limpiar, algunos emplean sensores desechables disminuyendo el riesgo de contaminación cruzada; características que han facilitado la incorporación de la espirometría en el consultorio, hospital, laboratorio e incluso el domicilio del paciente.

En la *Tabla 3* se resumen los diferentes tipos de espirómetros de flujo, sus ventajas y desventajas, prácticamente todos se encuentran disponibles en México.

### Otro equipamiento y consumibles<sup>3</sup>

1. Computadora e impresora (algunos equipos no requieren).
2. Báscula, estadiómetro.
3. Silla estable con descansabrazos laterales. Evitar silla con ruedas para prevenir caídas.
4. Termómetros ambientales con una precisión de 1 °C e higrómetro para medición de humedad relativa.
5. Boquillas recomendadas por el fabricante, se pueden utilizar tipo buceo para aquellos pacientes que no logran realizar un buen sellado con los labios.
6. Pinzas nasales.
7. Jeringa de tres litros certificada.

### Aditamentos para control de infecciones:

1. Acceso a lavado de manos y gel-alcohol.
2. Filtros en línea desechables con eficiencia de > 99% para filtración de virus, bacterias y micobacterias; espacio muerto < 100 mL y resistencia menor 1.5 cm H<sub>2</sub>O a un flujo de 6 L/s.
3. Respirador N95 con fuga menor al 10% y una eficiencia de filtrado de > 95% a un flujo de 50 L/min.
4. Gafas de protección.

Tabla 3: Tipos de espirómetros de flujo.<sup>1,27</sup>

| Tipo de espirómetro                  | Principio de acción  | Ventajas   | Desventajas  |
|--------------------------------------|--|--|--|
| Neumotacógrafo (presión diferencial) | <p>Miden la diferencia de presión que se genera al pasar un fluido laminar a través de una resistencia conocida, donde <math>\text{flujo} = \Delta\text{presión}/\text{resistencia}</math></p> <p>La resistencia puede ser una malla o un tubo formado por un conjunto de capilares; generalmente se calienta a 37 °C para evitar la condensación del vapor de agua del gas espirado</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Sumamente preciso a diferentes rangos de flujo</li> <li>Portátil</li> <li>Automatizados</li> <li>Equipos disponibles con sensores desechables</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Requiere ser recalibrado durante una misma jornada si se modifican de manera significativa las condiciones ambientales</li> <li>El acumulo de secreciones o la condensación del vapor exhalado modifican la resistencia y, por tanto, la medición del flujo</li> <li>Susceptible a contaminación de la resistencia si se utiliza sin filtro. El cambio en composición del gas requiere calibración</li> </ul> |
| Turbina electrónica                  | <p>Consiste en una hélice dentro del tubo que recibe el flujo. Un diodo emisor de luz (LED) está montado en un lado de la hélice y un fotodetector en el otro lado. Cada vez que la hélice gira, interrumpe la luz del LED que llega al detector. Estos pulsos se cuentan y suman para calcular el flujo del gas</p>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Portátiles</li> <li>Útiles en prueba de ejercicio cardiopulmonar (PECP)</li> <li>Automatizados</li> <li>Equipos disponibles con sensores desechables</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>A flujos altos, la hélice está sujeta a distorsión</li> <li>A flujos bajos, la inercia puede favorecer una estimación errónea del flujo</li> <li>Susceptible a contaminación de la turbina si se utiliza sin filtro</li> <li>Partes móviles frágiles y con tendencia a acumular suciedad que impide el libre giro de la turbina</li> </ul>  |
| Termistor (o de hilo caliente)       | <p>Consta de dos filamentos metálicos (generalmente platino) calentados por una corriente eléctrica. El flujo de gas a través de los filamentos provoca su enfriamiento. En un filamento, la corriente aumenta para mantener una temperatura constante; el otro filamento actúa como referencia. El cambio de corriente es proporcional al flujo de gas</p>                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>Portátiles</li> <li>Sin partes móviles</li> <li>Medición no susceptible a la temperatura y presión ambiental ni viscosidad del fluido</li> <li>Automatizados</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>La resistencia del sensor conectada en serie, cualquier modificación en los componentes podría ser medida erróneamente como un flujo</li> </ul>   |
| Tubo de Pitot                        | <p>Con base en la medición de la presión del fluido en un punto determinado del conducto y utilizando la relación entre la presión y el área que atraviesa el fluido se puede calcular el flujo de éste</p>  |  |  |
| Ultrasónico                          | <p>Las ondas de ultrasonido transitan a través de membranas a ambos lados de un tubo angulado con respecto a la corriente de gas. Las ondas sonoras se aceleran o se ralentizan según la dirección en la que fluye el gas. Al medir el tiempo de tránsito de las ondas de ultrasonido (que se modifica por el paso del gas) el flujo puede medirse con precisión</p>                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Portátiles</li> <li>Sumamente precisos</li> <li>Medición no susceptible a la temperatura y presión ambiental ni viscosidad del fluido</li> <li>El aire exhalado por el sujeto, no está en contacto con el sensor</li> <li>Mide la masa molar, con varias aplicaciones adicionales posibles</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Material piezoelectrico muy sensible a golpes o caídas</li> <li>En ausencia de filtro HEPA (high efficiency particle arrester) favorece aerolización</li> <li>Sensores de alto costo</li> </ul>   |

5. Se debe contar con agua natural, así como pañuelos faciales para ofrecerle al paciente en caso de presentar tos o secreciones.

### Consumibles para el broncodilatador:

1. Salbutamol en inhalador de dosis medida (100 mg por atomización).
2. Bromuro de ipratropio aerosol (20 mg por atomización).
3. Cámara de reservorio (espaciador) con un volumen recomendado de al menos 300 mL.

### CONTROL DE CALIDAD EN EL SITIO DE TRABAJO (Figura 1)

Existen requerimientos que todo laboratorio o sitio, donde se realizan espirometrías, debe cumplir para garantizar las buenas prácticas.

#### Bitácora<sup>2</sup>

Se recomienda mantener un informe sobre el control de calidad que pudiera ser auditado. En el registro o bitácora se incluirán los resultados de los procesos de calibración, fechas

de mantenimiento del espirómetro (reparaciones y/o ajustes) y jeringa de calibración, actualización de software/hardware (fechas en las que se realizaron los procedimientos y corroborar que se incluyan las ecuaciones de referencia). Las bitácoras deberán estar bajo resguardo del profesional técnico responsable y siempre estar disponibles. Cada espirómetro deberá contar con su propia bitácora física o electrónica.

#### Evaluación de la exactitud del espirómetro

Todo equipo de espirometría debe validarse antes de salir al mercado y calibrarse o verificarse subsecuentemente (antes de realizar las maniobras) para cumplir con una medición exacta de flujos y volúmenes que permita tomar decisiones clínicas congruentes. A continuación, se desglosan los conceptos que describen estos procesos:

**Validación:** evalúa la reproducibilidad de maniobras espiratorias mediante un sistema computarizado de generación de curvas. El espirómetro debe reproducir fielmente la curva modelo que genera el sistema de cómputo. No es parte de los procedimientos comunes de un laboratorio; se realiza antes de que los espirómetros se comercialicen.<sup>28</sup>

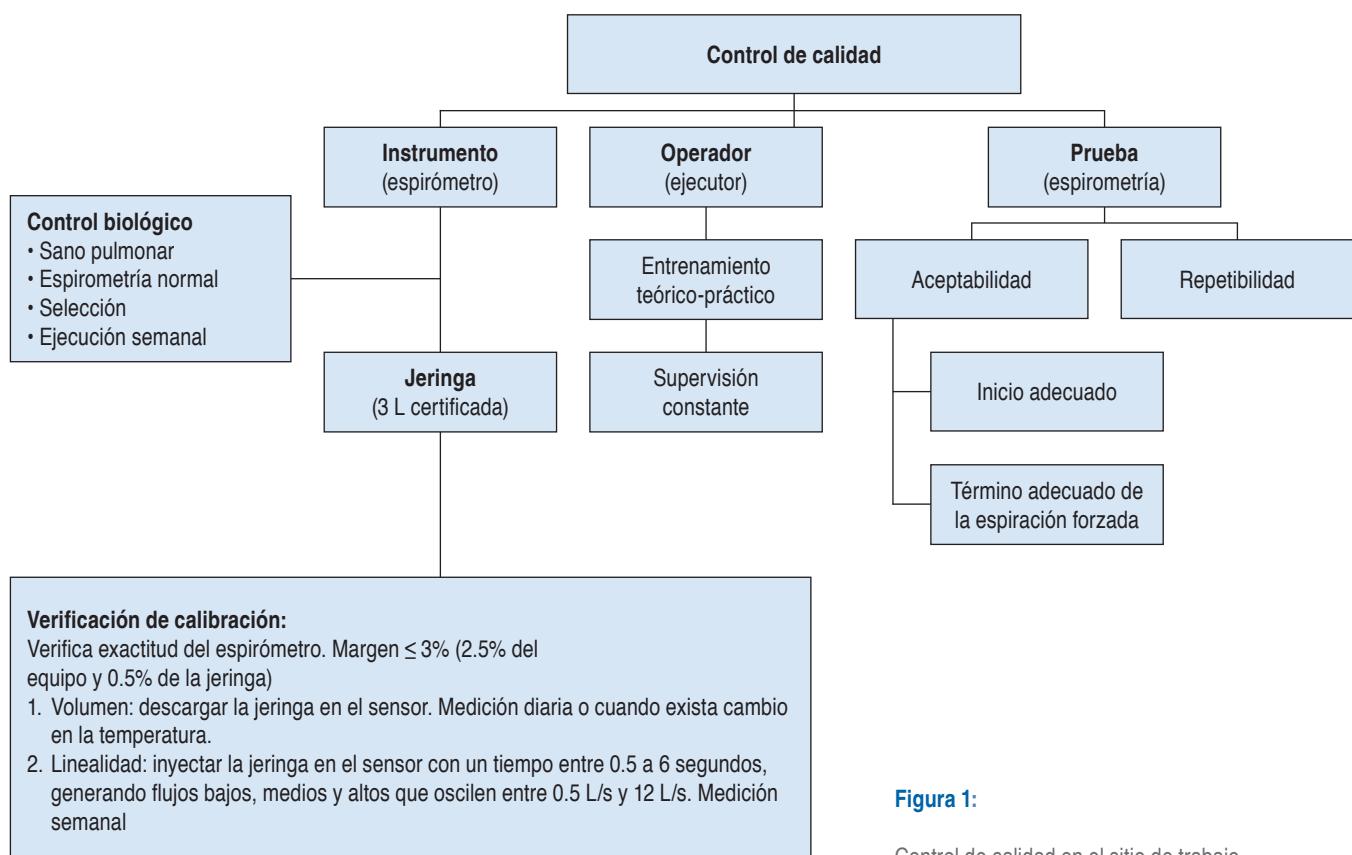


Figura 1:

Control de calidad en el sitio de trabajo.

**Calibración:** procedimiento por el cual se establece una relación entre el volumen o flujo medido por el sensor y el flujo o volumen real del calibrador (jeringa) en condiciones *Ambient Temperature, atmospheric Pressure, Saturated (ATPS)*. Es una maniobra de ajuste de ganancia eléctrica del dispositivo.<sup>1</sup> Los espirómetros cuyo sensor se afecta por las características de los gases (condensación, etcétera) como los neumotacógrafos deben calibrarse siempre.

**Verificación de la calibración:** procedimiento que verifica que el espirómetro se encuentre dentro de los límites de exactitud ( $\pm 3\%$ , correspondiente a:  $\pm 2.5\%$  del equipo y  $\pm 0.5\%$  de la jeringa de calibración) en condiciones ATPS. Si el dispositivo falla, la verificación debe repetirse y analizar las posibles causas (fuga en la unión de la jeringa con el espirómetro, error de flujo cero, error en el proceso de llenado e inyección de la jeringa o funcionamiento inadecuado de esta última). Si el fracaso es repetido, el equipo debe enviarse a recalibración y mantenimiento. El procedimiento debe realizarse diariamente descargando el instrumento de calibración (jeringa certificada de tres litros) a través del sensor al menos en tres ocasiones, en un rango de flujos entre 0.5 a 12 L/s (con tiempos de inyección entre 0.5 a 6 segundos). El resultado final debe arrojar un volumen de  $3\text{ L} \pm 90\text{ mL}$  ( $\pm 3\%$ ). Si se pretende realizar la espirometría con filtros, entonces este procedimiento también debe utilizar filtros. Existen espirómetros precalibrados por el fabricante y no pueden recalibrarse por el operador del espirómetro, sin embargo, es recomendable llevar el proceso de verificación de calibración en todos los equipos (aun en los ultrasónicos) y generar los reportes correspondientes que serán archivados en la bitácora.<sup>1</sup>

**Control biológico:** se realiza con la participación de un sujeto sano pulmonar, sin factores de riesgo, con espirometría normal; habitualmente se trata de un técnico del laboratorio que tiene la capacidad de realizar el procedimiento de manera muy repetible. No sustituye el uso de la jeringa de calibración. Al sujeto que será designado como el control biológico se le realizan espirometrías seriadas durante una cantidad específica de días a la misma hora; de esta manera, se obtiene el promedio de los valores más altos de FEV<sub>1</sub> y FVC.<sup>1</sup> Algunos equipos proporcionan la opción del cálculo automatizado de las DE (desviaciones estándar) dentro de las que se consideran correctas las mediciones obtenidas. Posteriormente, el sujeto debe realizar una espirometría semanalmente para comparar el valor medido contra el error máximo esperado.

### Instrumento de calibración estandarizado<sup>1</sup>

Corresponde a una jeringa de tres litros con exactitud de  $\pm 15\text{ mL}$  o  $\pm 0.5\%$ , con certificado vigente. Debe ve-

rificarse acorde con las recomendaciones del fabricante e idealmente una vez al mes, buscando posibles fugas, realizando una maniobra que intente llenar y vaciar la jeringa (a diferentes volúmenes) con la salida bloqueada. Del mismo modo, debe resguardarse lejos de la humedad o calor. Una jeringa dañada o golpeada se considera potencialmente descalibrada y no debe usarse para este procedimiento.

### Condiciones de los procedimientos<sup>1-3,28</sup>

1. ATPS: temperatura ambiental, presión barométrica y saturación de vapor de agua ambiental. Todos los procedimientos que impliquen la entrada y salida de volúmenes de una jeringa de calibración al sensor deben realizarse en estas condiciones.
2. Corrección BTPS: dado que el aire exhalado se encuentra a una temperatura corporal de  $37\text{ }^{\circ}\text{C}$  y saturado con una presión de vapor de agua de 47 mmHg; la presión parcial en los pulmones es de  $760-47\text{ mmHg} = 713\text{ mmHg}$  (a nivel del mar). Todos los procedimientos que involucren la ejecución de maniobras en sujetos deben ajustarse a estas condiciones.
3. El sitio de trabajo debe cumplir, idealmente, con las siguientes características: temperatura entre  $17$  a  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ , humedad relativa entre  $30$  a  $75\%$ . Los cambios en la temperatura o humedad durante la jornada laboral deben registrarse en la bitácora ya que puede ser una fuente de variabilidad en los resultados de la espirometría. En situaciones en las que la temperatura del aire ambiente cambia rápidamente  $> 3\text{ }^{\circ}\text{C}$  en  $< 30\text{ min}$ , debe realizarse la corrección pertinente en el espirómetro. Los laboratorios artificialmente climatizados permiten un mejor control de las variables ambientales.
4. Algunos espirómetros tienen sensores integrados que miden automáticamente la temperatura y la presión barométrica, pero se recomienda que el operador verifique la exactitud de estos parámetros.<sup>1</sup>

### Capacitación continua del personal

El personal que realiza espirometrías debe mantener la competencia a través de una capacitación regular para salvaguardar la calidad de los resultados. La falta de formación e infraestructura continuas contribuyen al desconocimiento sobre esta prueba.<sup>29</sup> Un curso de corta duración mejora la competencia;<sup>30</sup> el aprendizaje se refuerza con un segundo entrenamiento de mayor duración y vigilancia estrecha.<sup>29</sup> Es recomendable que el personal desarrolle destrezas para enfrentar situaciones especiales que incluyan: lenguaje diferente al español (dialectos), discapacidades auditivas o visuales y pacientes poco cooperativos.<sup>1</sup>

**Tabla 4:** Tiempo de suspensión de broncodilatadores en espirometría diagnóstica.<sup>1</sup>

| Tipo de broncodilatador                              | Ejemplo  | Tiempo de suspensión (horas) |
|--|--|------------------------------|
| SABA (beta-agonista de acción corta)                 | Salbutamol/fenoterol                                     | 4-6                          |
| SAMA (antagonista muscarínico de acción corta)       | Bromuro de ipratropio                                    | 12                           |
| LABA (beta-agonista de acción prolongada)            | Formoterol/salmeterol                                    | 24                           |
| LAMA (antagonista muscarínico de acción prolongada)  | Bromuro de tiotropio/umeclidinio/aclidinio/glicopirronio | 36                           |
| Ultra-LABA (beta-agonista de acción ultraprolongada) | Indacaterol/vilanterol/olodaterol                        | 36-48                        |

**Calidad de las maniobras.** Revisar la sección correspondiente.

#### Mejoría de la experiencia del paciente<sup>31</sup>

La Fundación Pulmonar Europea (ELF, por sus siglas en inglés) llevó a cabo, en 2018, una encuesta virtual en 52 países, entre los pacientes que regularmente realizaban espirometrías. De los 1,760 respondedores, sólo 17% de ellos calificaron la prueba como difícil de ejecutar, el resto la calificó como tolerable. Las sugerencias más importantes de los pacientes fueron las siguientes: información clara y concisa antes, durante y después de la prueba (con respecto a cese de fármacos, contraindicaciones, etcétera), así como acceso y explicación de los resultados obtenidos en el contexto de su patología.

### PROCEDIMIENTO DE SPIROMETRÍA FORZADA CON BRONCODILATADOR<sup>1,3</sup>

#### Recomendaciones para el paciente previas a la prueba

1. No fumar, vapear, o usar pipas de agua por lo menos una hora antes.
2. No consumir drogas que afecten el estado de conciencia dentro de las ocho horas previas.
3. No realizar ejercicio vigoroso una hora antes.
4. Evitar el uso de prendas restrictivas de tórax o abdomen.
5. Si la indicación de la prueba es diagnóstica, se deben suspender los broncodilatadores de acuerdo con el tiempo de acción de cada uno (*Tabla 4*).

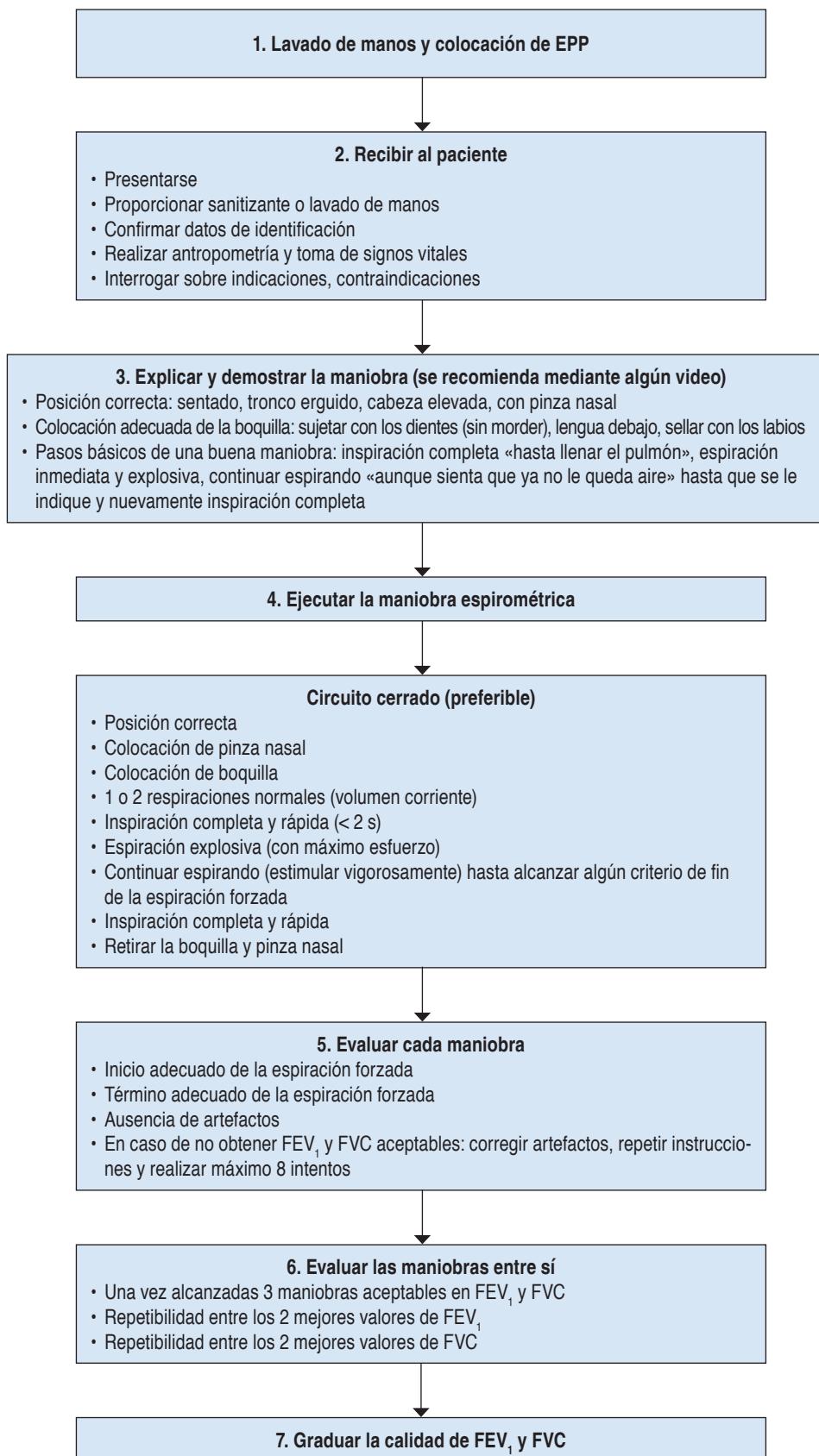
#### Preparación del equipo antes de la prueba

1. Todos los componentes (mangueras, sensores, conectores, etcétera) deben estar debidamente desinfectados y/o esterilizados y ensamblados de acuerdo con las instrucciones del fabricante.
2. Realizar calibración o verificación de la calibración.
3. El espirómetro debe estar codificado a la altitud o presión barométrica y humedad relativa promedio del sitio donde se realiza el estudio.

4. Verificar que se encuentra configurado adecuadamente el reporte espirométrico.

#### Acciones del personal a la llegada del paciente

1. Presentarse con el paciente y verificar que sus datos sean correctos (corroborar nombre y fecha de nacimiento).
2. Revisar las indicaciones.
3. Evaluar la presencia de posibles contraindicaciones, signos vitales y el apego del paciente a las recomendaciones.
4. Introducir los datos del paciente en el espirómetro: nombre completo, fecha de nacimiento, parámetros antropométricos: edad en años cumplidos al día de la prueba, sexo al nacer (los pacientes pueden proporcionar su identidad de género, pero deben ser informados de que se requiere el sexo al nacer por ser un determinante del tamaño pulmonar predicho). Es importante introducir, como notas u observaciones, todos los datos adicionales que puedan ayudar en la posterior interpretación del estudio (como tabaquismo, exposiciones, antecedente de enfermedad pulmonar previa, etcétera).
5. Obtener el peso con ropa ligera, en una báscula de precisión y registrarlo en kilogramos en unidades cerradas al 0.5 kg más cercano.
6. Obtener la talla o estatura con un estadiómetro (debe medirse sin zapatos, con los pies juntos, de pie y lo más erguido posible, mirando hacia adelante, con la espalda y talones contra la pared o el estadiómetro).
7. En los pacientes que no puedan mantenerse de pie o con deformidad de caja torácica, puede utilizarse la medición de la extensión de los brazos para estimar la estatura de pie; mida la distancia entre las puntas de los dedos centrales (envergadura). Para los hombres caucásicos: altura = envergadura del brazo/1.03, para los hombres afroamericanos: altura = envergadura del brazo/1.06 y para las mujeres altura = envergadura del brazo/1.01. En el caso de pacientes que no puedan ser medidos de pie y además no cuenten con un brazo se puede medir la media envergadura, como la distancia entre la punta

**Figura 2:**

Maniobra espirométrica.

EPP = equipo de protección personal.

FEV<sub>1</sub> = volumen espiratorio forzado en el primer segundo.

FVC = capacidad vital forzada.

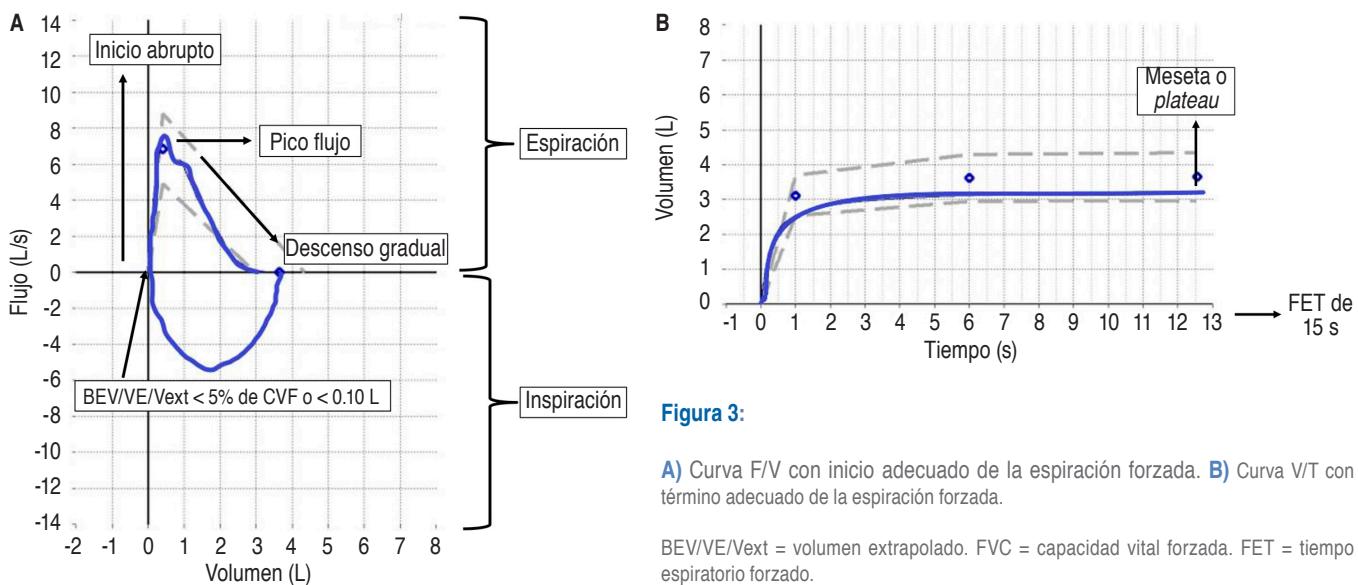


Figura 3:

**A)** Curva F/V con inicio adecuado de la espiración forzada. **B)** Curva V/T con término adecuado de la espiración forzada.

BEV/VE/Vext = volumen extrapolado. FVC = capacidad vital forzada. FET = tiempo espiratorio forzado.

del dedo medio y la vértebra cervical prominente. Y en los pacientes con deformidad importante de la postura corporal en quienes no sea posible medir la envergadura de forma lineal se calculará la envergadura compuesta.

8. Colocar al paciente sentado, en una silla sin ruedas y con soporte para brazos, con el tórax y cuello en posición recta. Si se realiza la prueba en una posición diferente (decúbito, por ejemplo) debe registrarse.
9. Explicar al paciente, en palabras sencillas, el objetivo de la prueba. Se recomienda la siguiente frase: «La espirometría es una prueba de soplar que sirve para medir el tamaño de los pulmones y saber si existe o no obstrucción de sus bronquios. Usted va a soplar fuerte y sostenido a través de esta boquilla varias veces hasta obtener al menos tres maniobras adecuadas».
10. Se puede utilizar algún video o imagen para reforzar la explicación. No es conveniente retirar la protección ocular o respiratoria para demostrar la maniobra.

### Maniobras de capacidad vital forzada (FVC)

Se prefieren las maniobras que evalúen ambas fases del ciclo respiratorio (inspiración y espiración), también conocidas como «circuito cerrado».

Los cuatro pasos básicos de una buena maniobra consisten en:

1. Inspiración máxima hasta capacidad pulmonar total (TLC).
2. Espiración explosiva, inmediata y sin dudar.

3. Continuar la espiración hasta cumplir criterios de fin de la espiración forzada. En este punto es importante la motivación otorgada por el ejecutor.
4. Volver a inspirar hasta TLC. Cierra la curva inspiratoria y permite evaluar la capacidad vital forzada inspiratoria *Forced Inspiratory Vital Capacity (FIVC)*.

En los espirometros que no registran la fase inspiratoria se pueden realizar maniobras de circuito abierto colocando la boquilla inmediatamente después de la inspiración (paso 1) y retirándola después de cumplir criterios de fin de la espiración forzada (paso 3).

En la *Figura 2* se esquematizan los pasos de una maniobra de circuito cerrado.

### Administración del broncodilatador<sup>32</sup>

El protocolo de administración debe consignarse por escrito en el manual de procedimientos internos del sitio de trabajo; debe contener los siguientes elementos:

1. Tipo de broncodilatador (salbutamol, fenoterol, bromuro de ipratropio o combinaciones).
2. Dosis por administrar en niños (salbutamol: 200 µg) y adultos (salbutamol: 400 µg, bromuro de ipratropio: 80 µg).
3. Método de administración: inhalador dosis medida (IDM) con aerocámara, con o sin mascarilla, nebulizador. En este sentido se recomienda el IDM con aerocámara; el uso de nebulizadores debe tomar en cuenta el flujo de aire, la presión del equipo y no usar oxígeno mientras se administra el fármaco.
4. Tiempo de espera para realizar las maniobras posbroncodilatador: cuando se utiliza salbutamol se espera al

menos 15 minutos y en el caso de bromuro de ipratropio mínimo 30 minutos.

## CALIDAD DE LAS MANIOBRAS<sup>1</sup>

### Evaluación de cada maniobra

Al finalizar cada maniobra se debe evaluar que cumpla con los siguientes criterios de aceptabilidad técnica:

#### 1. Inicio adecuado de la espiración forzada (Figura 3A).

Un inicio explosivo, con el máximo esfuerzo, asegura que estamos obteniendo el verdadero FEV<sub>1</sub> del paciente.

Se deben evaluar y cumplir *los siguientes dos indicadores* para asegurar que la maniobra tuvo un inicio correcto:

- El volumen extrapolado, que es la cantidad de gas que se espira de forma titubeante desde la inspi-

ración máxima al tiempo 0, debe ser < 5% de la FVC o.

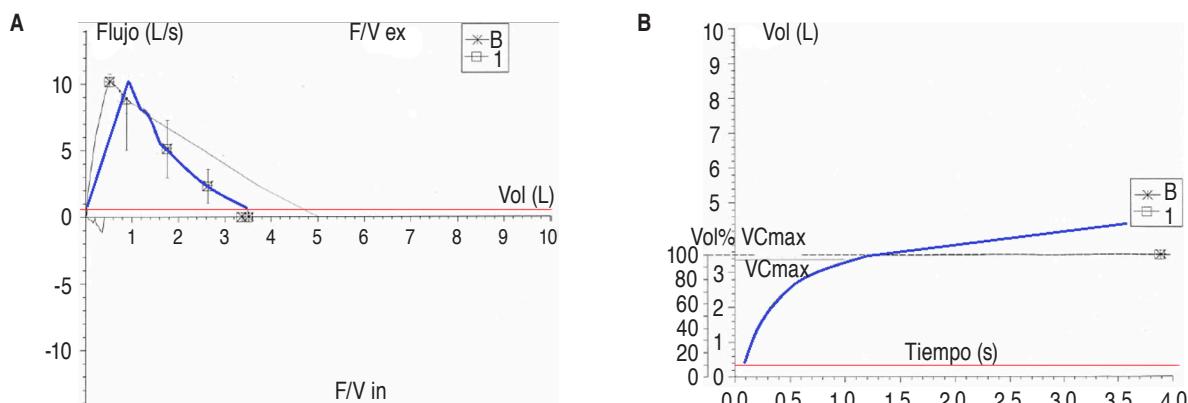
- La curva flujo/volumen (F/V) debe tener morfología triangular, con elevación abrupta y vertical hasta alcanzar el pico flujo y descenso gradual hasta 0.

#### 2. Término adecuado de la espiración forzada (Figura 3B).

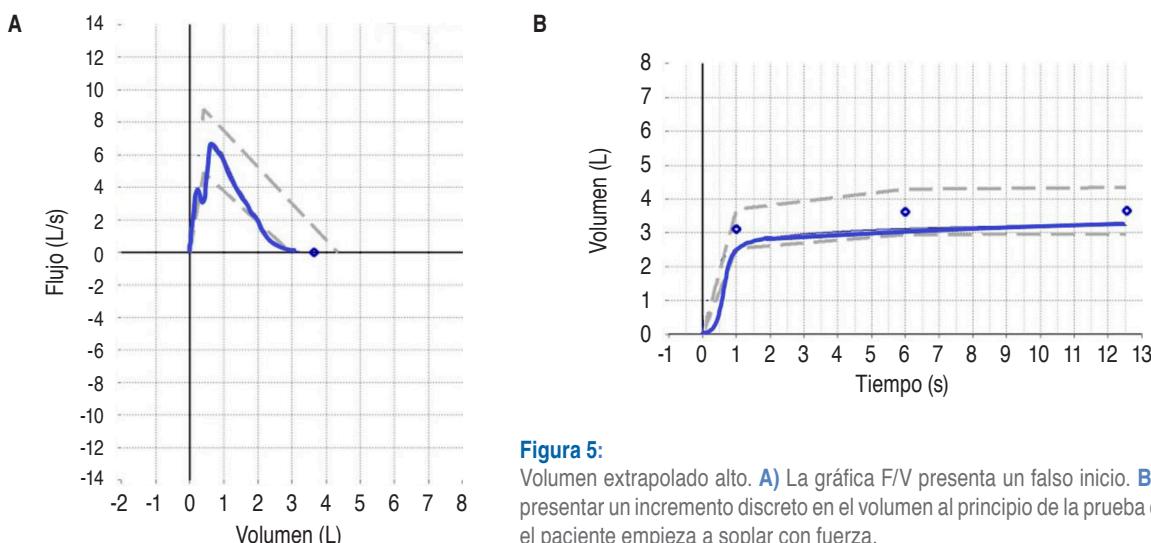
Un final adecuado de la maniobra nos asegura obtener la verdadera FVC del paciente.

Se deben evaluar y cumplir *al menos uno* de los siguientes tres indicadores para asegurar que la maniobra tuvo un término correcto:

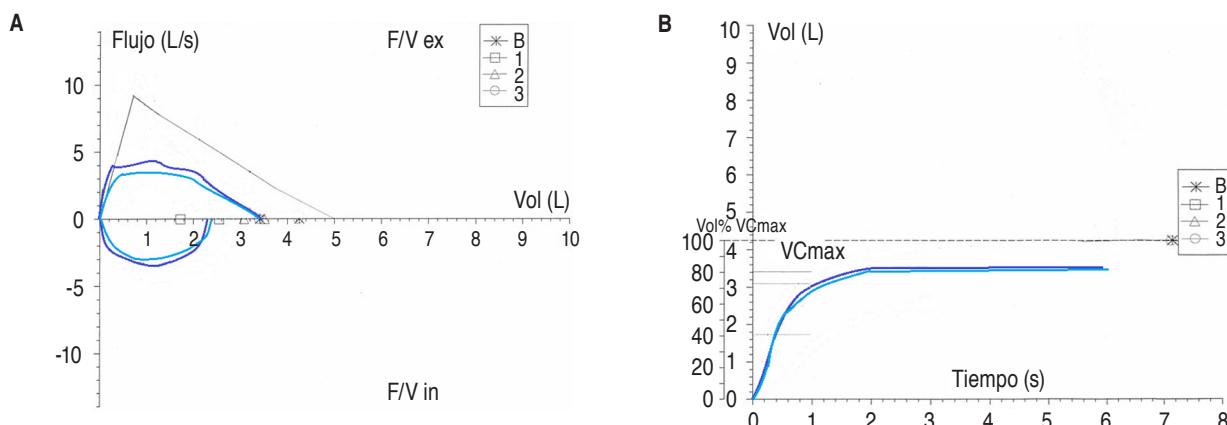
- Meseta o plateau. Es el mejor indicador de fin de la espiración forzada; se refiere a un incremento de volumen en la curva V/T o EOFE.
- Tiempo espiratorio de 15 segundos. Este indicador es más probable de alcanzar en los adultos



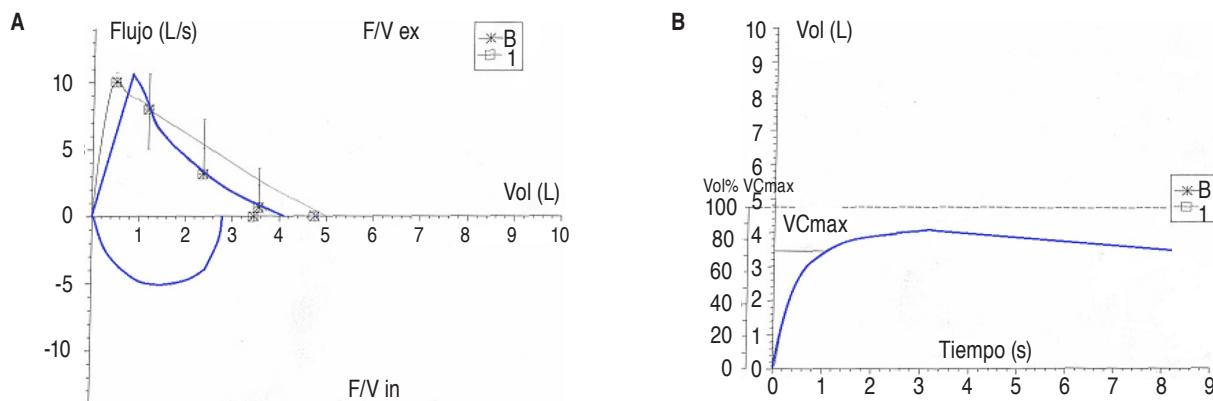
**Figura 4:** Error de línea de base. **A)** La gráfica F/V inicia por encima del flujo 0 y no regresa a flujo 0 al terminar la maniobra. **B)** La gráfica V/T tampoco inicia en 0 y muestra un incremento progresivo e infinito en el volumen.  
VCmax = capacidad vital máxima.



**Figura 5:**  
Volumen extrapolado alto. **A)** La gráfica F/V presenta un falso inicio. **B)** La gráfica V/T puede presentar un incremento discreto en el volumen al principio de la prueba que se rectifica cuando el paciente empieza a soplar con fuerza.



**Figura 6:** Obstrucción de la boquilla. **A)** La gráfica F/V no tiene pico flujo a pesar del esfuerzo adecuado del paciente. **B)** La gráfica V/T discretamente aplanada antes de tiempo.  
VCmax = capacidad vital máxima.



**Figura 7:** Fuga de volumen. **A)** La gráfica F/V puede permanecer inalterada. **B)** La gráfica V/T muestra caída progresiva del volumen conforme el sujeto continúa espirando.  
VCmax = capacidad vital máxima.

mayores o en pacientes con obstrucción de vía aérea inferior. Por seguridad del paciente, si no se ha alcanzado la meseta, pero ya se cumplieron 15 segundos de tiempo espiratorio, la maniobra debe finalizarse.

- c. El sujeto no puede continuar exhalando. En este caso se evaluará que las FVC de las maniobras previas y subsecuentes sean repetibles entre sí.

### 3. Ausencia de artefactos que afectan la aceptabilidad técnica (Figuras 4 a 11).

- a. Errores en línea de base. Ocurre cuando el operador o el paciente genera algún flujo mientras el equipo se encuentra estableciendo la línea basal; afecta tanto el FEV<sub>1</sub> como la FVC (Figura 4). Este artefacto es frecuente cuando la espirometría se lleva a cabo en exteriores o cerca de un dispositivo de aire acondicionado.

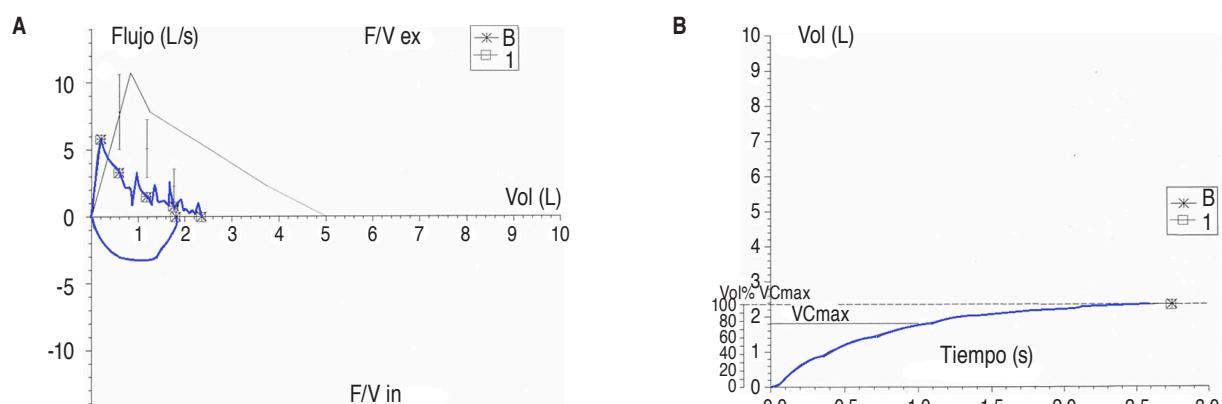
- b. Volumen extrapolado alto. Se genera cuando el paciente tarda demasiado entre la inspiración máxima y el esfuerzo espiratorio. Su presencia hace inaceptables y no útiles tanto el FEV<sub>1</sub> como la FVC (Figura 5).
- c. Fuga u obstrucción de la boquilla. Ocurre cuando el paciente no sella adecuadamente la boquilla con los labios, cuando mete la lengua o muerde la boquilla con fuerza. Si después de verificar la adecuada colocación de la boquilla se sigue observando en las maniobras subsecuentes el «artefacto» de obstrucción, es importante descartar obstrucción verdadera de la vía aérea central intra o extratorácica. Los pacientes con parálisis facial o edéntulos sin prótesis podrían necesitar apoyo en el sellado (Figuras 6 y 7).
- d. Tos. Si ocurre durante el primer segundo afecta el resultado del FEV<sub>1</sub>; sin embargo, la FVC puede ser utilizable en esos casos (Figura 8).

- e. Cierre glótico. El individuo puja en vez de exhalar, cerrando la glotis y obstruyendo súbitamente la salida del flujo; si ocurre durante el primer segundo afecta tanto FEV<sub>1</sub> como FVC haciendo la maniobra no utilizable, si ocurre después del primer segundo la FEV<sub>1</sub> podría ser utilizable (*Figura 9*).
- f. Exhalaciones repetidas. Ocurre cuando el paciente reinhala por la nariz y vuelve a exhalar, incrementando falsamente la FVC de esa maniobra. La FEV<sub>1</sub> podría ser utilizable si la segunda exhalación se presentó después del primer segundo (*Figura 10*).
- g. Esfuerzos variables. Ocurre cuando el paciente no espira con el máximo esfuerzo, se puede sospechar

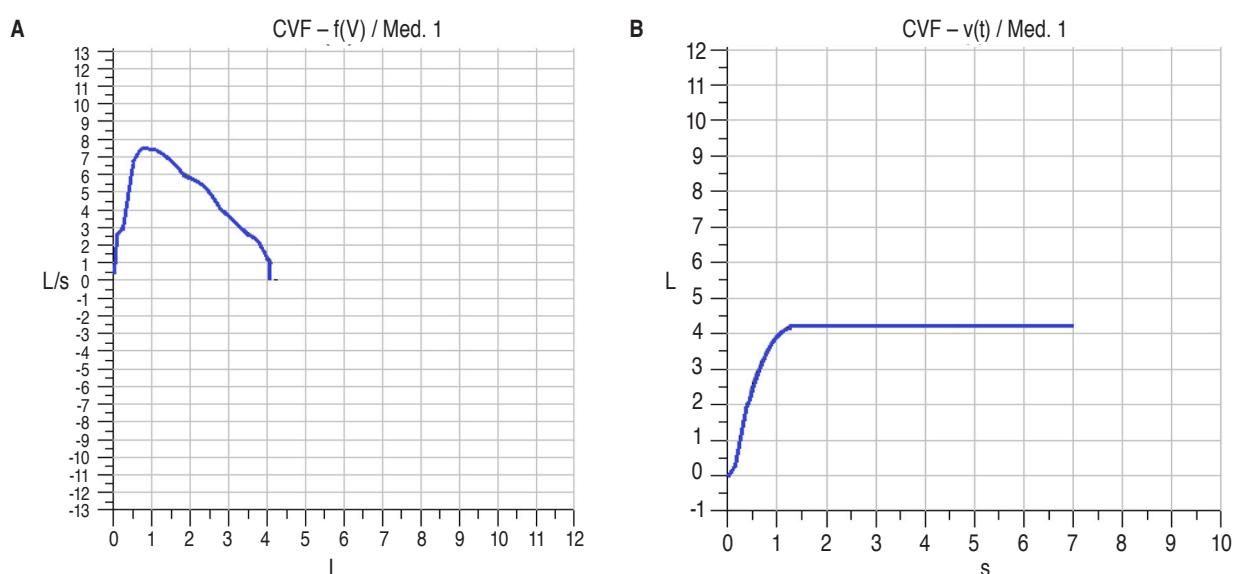
- ante la presencia de picos flujos variables y trazos no sobrepuertos en la curva F/V (*Figura 11*).
- h. Resta de FVIC-FVC superior a 0.10 L (100 mL) o al 5% de la FVC (el valor más alto). Si el volumen inspirado para cerrar el circuito, después de terminar la espiración forzada (FVIC), es mucho mayor que la FVC de esa maniobra, significa que el paciente no inspiró completamente al inicio de la prueba, lo que afecta el resultado de la FVC.

## EVALUACIÓN ENTRE LAS MANIOBRAS<sup>1</sup>

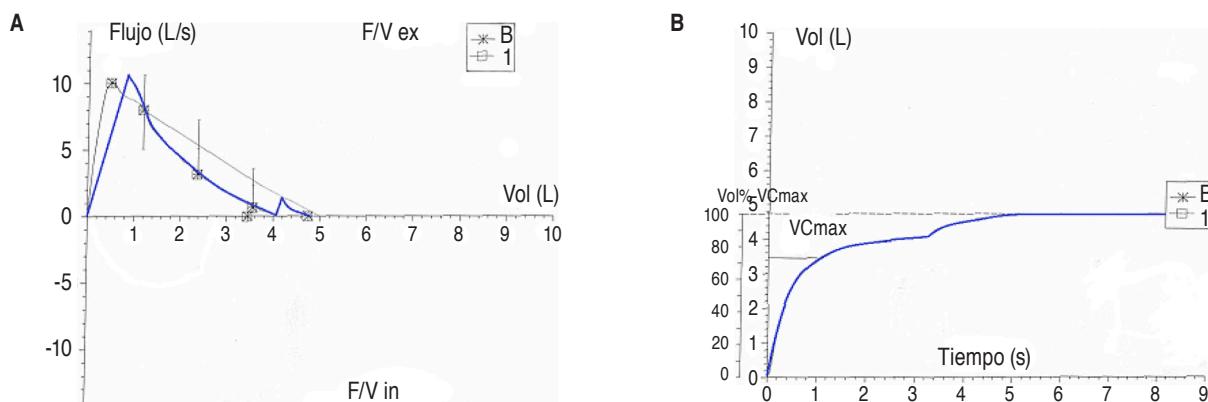
La aceptabilidad implica que cada maniobra está bien ejecutada (desde el inicio hasta el final), en tanto que la



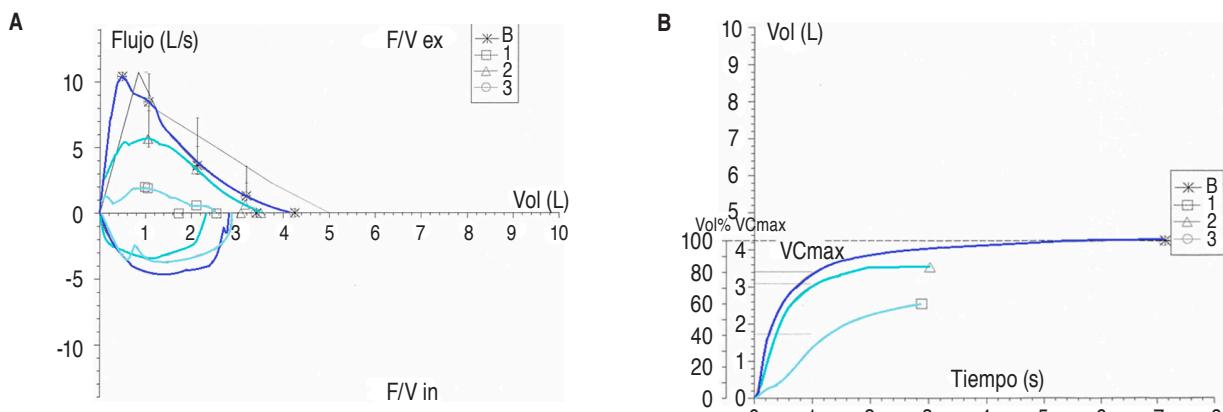
**Figura 8:** Tos. A) La gráfica F/V muestra oscilaciones bruscas en el flujo. B) La gráfica V/T muestra irregularidades parecidas a escalones. VCmax = capacidad vital máxima.



**Figura 9:** Cierre glótico. A) La gráfica F/V muestra caída abrupta del flujo a 0. B) La gráfica V/T muestra una meseta completamente plana desde el primer segundo.



**Figura 10:** Exhalaciones repetidas. **A)** La gráfica F/V muestra una curva de flujo volumen adicional al final de la espiración. **B)** La gráfica V/T muestra un incremento artificial de la capacidad vital forzada.  
VCmax = capacidad vital máxima.



**Figura 11:** Esfuerzos variables. **A)** La gráfica F/V no tiene flujo pico en dos de las maniobras, solo una es aceptable. **B)** La gráfica V/T tiene un incremento de volumen más gradual, aunque el artefacto puede pasar imperceptible en el gráfico V/T.  
VCmax = capacidad vital máxima.

repetibilidad significa que las maniobras se parecen entre sí, lo cual es un indicador de la consistencia de la medición. En la medida en la que un fenómeno es consistente, es menor la probabilidad de error.

Por lo tanto, una vez obtenidas tres maniobras aceptables (tanto en  $FEV_1$ , como en  $FVC$ ), se debe evaluar la repetibilidad bajo los siguientes criterios: la diferencia entre los dos valores más altos de  $FEV_1$  y los dos valores más altos de  $FVC$  debe ser  $\leq 150$  mL (máximo  $\leq 200$  mL) en sujetos mayores de seis años, y  $\leq 100$  mL o  $\leq 10\%$  del valor más alto en los pacientes menores de seis años (Figura 12 y Tabla 5).

### Grados de calidad de la prueba<sup>1</sup>

Después de obtener tres maniobras aceptables y dos repetibles (en  $FEV_1$  y  $FVC$ ) se debe graduar la calidad de la prueba (Tabla 6). Es importante destacar que la calidad

automática no siempre coincide con la del observador experto, por lo que recomendamos utilizar con reserva los algoritmos automatizados.

### Consideraciones sobre la calidad de la prueba<sup>1</sup>

1. Se puede alcanzar la aceptabilidad en  $FEV_1$  y no en  $FVC$ , y viceversa, ante la presencia de ciertos artefactos difíciles de corregir.
2. La repetibilidad se analiza hasta haber completado tres esfuerzos aceptables.
3. Ocho intentos es un límite práctico, pero algunas personas, sobre todo las que tienen poca experiencia en la prueba, pueden obtener su mejor maniobra después de la octava, especialmente si no muestran fatiga, con el fin de obtener tres aceptables. Los pacientes que van obteniendo pruebas más malas o con mediciones más bajas con las nuevas maniobras, en

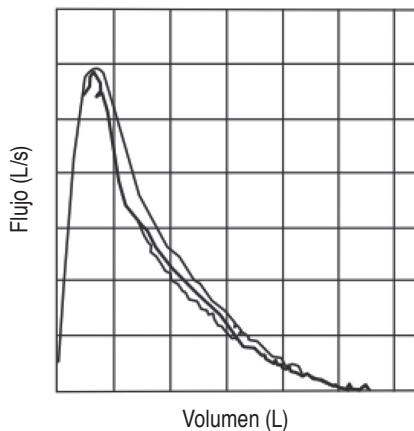
- general no obtendrán beneficio de pasar de la octava maniobra.
4. En caso de no obtener ninguna maniobra aceptable en  $FEV_1$  y FVC, a pesar de nuestros esfuerzos y los del

paciente, un evaluador experto puede utilizar el grado de calidad U y emitir alguna interpretación al respecto.

5. En pacientes con hiperreactividad bronquial, las maniobras repetidas de FVC pueden causar disminución de los flujos.

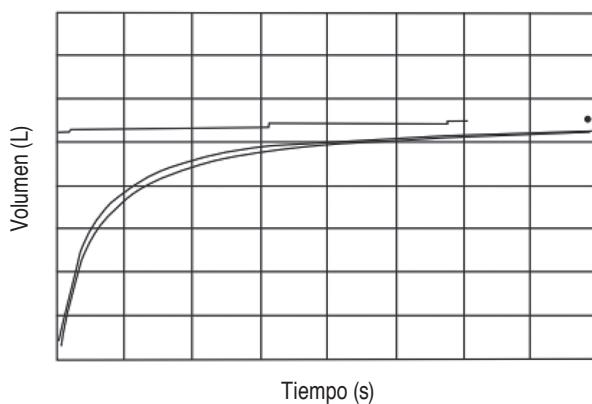
A

Gráficos flujo/volumen



B

Gráficos volumen/tiempo



**Figura 12:** Espirometría forzada simple aceptable (buen inicio: gráfico F/V con inicio abrupto, flujo pico y descenso gradual, volumen extrapolado o BEV/VE/Vext inferior a 0.10 L o 5% de la FVC. Buen término de la espiración forzada: EOTV o EOFE menor de 0.02 L). Repetible en FVC (4.28-4.16 L = 0.12 L) y  $FEV_1$  (2.96-2.88 L = 0.08 L).

Tabla 5: Informe espirométrico completo.

| Espirografía forzada<br>Nombre del sitio de ejecución |                            |                                   |       |          |                          |          |        |              |
|---|----------------------------|-----------------------------------|-------|----------|--------------------------|----------|--------|--------------|
| Nombre completo del paciente                          |                            | Identificación                    |       |          | Edad (años)              |          |        |              |
| Sexo  |                            | Origen étnico                     |       |          | Altura                   |          |        |              |
| Peso (kg)   |                            | Fecha de la prueba                |       |          | Predicho (NHANES III...) |          |        |              |
| Fecha de última calibración                           |                            | Iniciales del técnico que realiza |       |          | Índice tabáquico/asma... |          |        |              |
| Parámetro   | Valores prebroncodilatador |                                   |       |          |                          |          |        |              |
|   | Pred                       | LIN                               | Mejor | Prueba 1 | Prueba 2                 | Prueba 3 | % pred | Puntuación Z |
| FVC (L)   | 3.73                       | 3.00                              | 4.28  | 4.28     | 4.16                     | 4.11     | 115    | 1.24         |
| $FEV_1$ (L)   | 2.87                       | 2.25                              | 2.96  | 2.96     | 2.88                     | 2.75     | 103    | 0.24         |
| $FEV_1/FVC$   | 0.78                       | 0.69                              | 0.69  | 0.69     | 0.69                     | 0.66     | 88     | -1.63        |
| PEF (L/s)   | 7.80                       | 5.67                              | 6.96  | 6.62     | 6.71                     | 6.96     |        |              |
| FET (s)   |                            |                                   | 9.6   | 9.6      | 10.9                     | 9.3      |        |              |
| FVC (L)   | 3.73                       | 3.00                              | 4.00  | 4.00     | 3.91                     | 3.74     |        |              |
| EOTV (L)  |                            |                                   |       | 0.00     | 0.00                     | 0.00     |        |              |
| BEV o Vext (L)  |                            |                                   |       | 0.12     | 0.09                     | 0.08     |        |              |
| $FEV.75$ (L)  |                            |                                   | 2.62  | 2.62     | 2.56                     | 2.42     |        |              |
| $FEV.75/FVC$ (L)                                      |                            |                                   | 0.61  | 0.61     | 0.61                     | 0.58     |        |              |

NHANES = National Health and Nutrition Examination Survey. Pred = predicho. LIN = límite inferior de la normalidad. FVC = capacidad vital forzada.  $FEV_1$  = volumen espiratorio forzado en el primer segundo. PEF = espirometría. FET = tiempo espiratorio. FVC = capacidad vital forzada inspiratoria. EOTV = volumen al final de la espiración. BEV o Vext = volumen extrapolado. FEV = volumen espiratorio forzado.

**Tabla 6:** Grados de calidad de FEV<sub>1</sub> y FVC.<sup>1</sup>

| Grado | Maniobras aceptables | ΔFEV <sub>1</sub> y ΔFVC, mL |                   | Comentario   |
|-------|----------------------|------------------------------|-------------------|--|
|       |                      | Mayores de 6 años            | Menores de 6 años |  |
| A     | 3                    | < 150                        | < 100             | Técnicamente muy confiable                               |
| B     | 2                    | < 150                        | < 100             | Técnicamente confiable                                   |
| C     | 2                    | < 200                        | < 150             | Técnicamente aceptable                                   |
| D     | 2                    | < 250                        | < 200             | Técnicamente con reserva                                 |
| E     | 2 o 1                | > 250                        | > 200             | Técnicamente no recomendable                             |
| U     | 0 aceptable y 1 útil | N/A                          | N/A               | Clasificación recomendada sólo para el evaluador experto |
| F     | 0 o 1                | N/A                          | N/A               | Técnicamente no recomendable                             |

FEV<sub>1</sub> = volumen espiratorio forzado en el primer segundo. FVC = capacidad vital forzada. N/A = no aplica.

**Tabla 7:** Control de riesgos ocupacionales al realizar espirometrías.<sup>5,38</sup>

|                        | Control de ingeniería   | Control administrativo   | Equipo de protección personal   |
|------------------------|---|--|---|
| Objetivo               | Aislar al personal de la exposición   | Modificar los procesos de trabajo para disminuir la exposición   | Proteger directamente al trabajador expuesto  |
| Impacto organizacional | Colectivo   |  | Individual  |
| Acciones               | <p><b>Priorizar la ejecución por categorías:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Categoría 1. Urgente o esencial (necesaria para tratamientos de vida o muerte)</li> <li>Categoría 2. Limitante (necesaria para iniciar tratamientos que mejoran la calidad de vida)</li> <li>Categoría 3. Rutinaria</li> <li>Categoría 4. Pacientes vulnerables</li> </ul> <p>Las categorías 3 y 4 deberán reservarse para la fase pospandemia</p> <p><b>Infraestructura:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Tasas de ventilación de al menos 6 recambios de aire/HR</li> <li>Filtros HEPA con adecuado mantenimiento</li> <li>Cuarto de presión negativa para pacientes con tuberculosis activa</li> <p><b>Consumibles:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Boquillas desechables (no reutilizar)</li> <li>Uso obligatorio de filtros de alta eficiencia</li> </ul> </ul> | <p><b>Tamizaje de infecciones respiratorias activas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Cuestionario de signos y síntomas (reagendar ante datos de infección activa)</li> <li>Inmunocompetentes no necesitan PCR negativa <i>versus</i> SARS-CoV-2 30 días después del cuadro</li> <li>Inmunocomprometidos se recomienda 2 PCR <i>versus</i> SARS-CoV-2 (-) después del cuadro</li> <p><b>Organización de agenda y flujo de pacientes:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Destinar los primeros turnos o áreas específicas para los pacientes vulnerables</li> </ul> <p><b>Distancia física (al menos 2 metros) en sala de espera</b></p> <p><b>Minimizar el tiempo de exposición al paciente durante la prueba</b></p> <p><b>Cubrebocas obligatorio en el paciente entre maniobra y maniobra</b></p> <p><b>Etiqueta de tos o estornudo al realizar la maniobra</b></p> <p><b>Lavado obligatorio de manos del personal y del paciente</b></p> <p><b>Pausa de aerosoles</b></p> <p><b>Limpieza y desinfección entre paciente y paciente</b></p> </ul> | <p><b>Protección ocular:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Gafas protectoras o careta</li> </ul> <p><b>Protección respiratoria:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Respiradores con filtrado de más de 95% de partículas (FFP2 o N95)</li> <li>Prueba de sellado</li> <li>No se recomienda uso de cubrebocas de tela, quirúrgicos u otros al realizar la prueba</li> </ul> |

HR = 6 recambios de aire/hora. HEPA = *high efficiency particle arrester*. PCR = Reacción en cadena de la polimerasa.

## INFORME DE LOS RESULTADOS<sup>1-5</sup>

Es recomendable que incluya la información suficiente para evaluar la calidad de la prueba, así como una interpretación estandarizada por un experto. Debe incluir los siguientes componentes (*Figura 12* y *Tabla 5*):

- Nombre completo del paciente.
- Fecha de nacimiento del paciente.
- Parámetros antropométricos (edad, género, origen étnico, peso y estatura).
- Antecedentes respiratorios de importancia.
- Origen de los valores de referencia.

6. Fecha de última calibración.
7. Los valores de tres maniobras aceptables de la espirometría: FVC, FEV<sub>1</sub> y PEF en unidades (L o L/s) con dos decimales y la relación FEV<sub>1</sub>/FVC en porcentaje con un decimal. Según sea el caso también se pueden incluir FEV<sub>6</sub> y FEV<sub>1</sub>/FEV<sub>6</sub> y en el caso de preescolares, incluir el FEV<sub>0.5</sub> y el FEV<sub>0.75</sub>, con valores absolutos y el porcentaje del predicho. Es indispensable incluir el valor numérico del volumen extrapolado (BEV, VEB o Vext) y el volumen al final de la espiración (EOTV o EOFE), así como el tiempo espiratorio (FET).
8. Deben ser visibles las tres gráficas de volumen-tiempo y flujo-volumen, tanto basales como posbroncodilatador.
9. Deben estar los tres mejores valores basales y los tres mejores después de la administración del broncodilatador. Algunos espirómetros no actualizados sólo reportan el mejor valor basal y el mejor valor posbroncodilatador.
10. Idealmente debe estar reportado el cambio que hubo en FEV<sub>1</sub> y en FVC entre la mejor prueba basal y la mejor prueba posterior al broncodilatador.

11. Columna de predichos, límite inferior de la normalidad y puntuación Z.

## CONSIDERACIONES DE BIOSEGURIDAD

Las precauciones y procesos que reducen el riesgo del personal expuesto a un agente potencialmente infeccioso,<sup>33</sup> siempre han sido indispensables, aunque frecuentemente ignoradas en los procedimientos sanitarios. Los potenciales microorganismos implicados en las infecciones cruzadas dentro de un laboratorio de función pulmonar se transmiten principalmente mediante gotas y aerosoles; también existe el riesgo de transmisión por contacto en los pacientes inmunocomprometidos.<sup>34</sup>

Con el surgimiento de la COVID-19, numerosos consensos de expertos propusieron limitar la ejecución de las pruebas de función respiratoria de acuerdo con la fase pandémica.<sup>35-37</sup> En una encuesta realizada a los laboratorios registrados en la Sociedad Americana de Tórax, sólo el 70% de ellos continuó realizando espirometrías en todas las fases.<sup>38</sup> Aunque no hay información similar en América

**Tabla 8:** Recomendaciones para realizar espirometrías en pacientes pediátricos.<sup>44</sup>

|  |  |
|--|--|
| 1. Establezca un ambiente amigable con el paciente         | Salude al niño, ánimele a conversar (halague su forma de vestir, pregunte sobre vacaciones, escuela)   |
| 2. Haga uso de analogías para explicar la prueba           | Inste al niño a jugar un «juego de soplar» en la computadora<br>Demuestre la prueba soplando en un pañuelo, rehilete o espantasuegras  |
| 3. Mantenga la posición correcta del paciente              | Anime al niño a mantenerse derecho y sosteniendo el sensor de flujo vertical<br>Use pinzas nasales, pero si son muy molestas evítelas  |
| 4. Motive al paciente a realizar adecuadamente la maniobra | Colóquese al mismo nivel visual que el niño<br>Sea expresivo con su lenguaje corporal (cambie la entonación de la voz, use sus manos)<br>Use palabras que el niño pueda entender e instrucciones simples: «Inhala»,<br>«Exhala»; «Mete aire hasta que te sientas a reventar», «Expulsa el aire»<br>Use incentivos visuales (como las velas del cumpleaños) |
| 5. Entrene su tolerancia a la frustración                  | Prepárese para probar diferentes técnicas (maniobra abierta vs cerrada)<br>Establezca períodos de descanso<br>Ofrezca incentivos (estampitas, premios, reconocimientos)<br>Sepa cuando parar. En ocasiones no será posible obtener una espirometría técnicamente aceptable o repetible   |

**Tabla 9:** Maniobras de espirometría lenta.

| Parámetro | Valores prebroncodilatador |      |       |          |          |          |        |              |
|-----------|----------------------------|------|-------|----------|----------|----------|--------|--------------|
|           | Pred                       | LIN  | Mejor | Prueba 1 | Prueba 2 | Prueba 3 | % pred | Puntuación Z |
| VC (L)    | 3.80                       | 3.09 | 3.73  | 3.73     | 3.64     | 3.58     | 98     | -0.15        |
| VCex (L)  | 3.80                       | 3.09 | 3.70  | 3.65     | 3.70     | 3.69     | 97     | -0.16        |
| VCin (L)  | 3.80                       | 3.09 | 3.73  | 3.73     | 3.64     | 3.58     | 98     | -0.15        |
| IC (L)    |                            |      | 2.86  | 2.97     | 2.88     | 2.75     |        |              |
| VT (L)    |                            |      | 1.03  | 1.02     | 1.03     | 1.02     |        |              |

LIN = límite inferior de la normalidad. VC = capacidad vital en litros. VCex = capacidad vital espiratoria en litros. VCin = capacidad vital inspiratoria en litros. IC = capacidad inspiratoria. VT = volumen corriente.

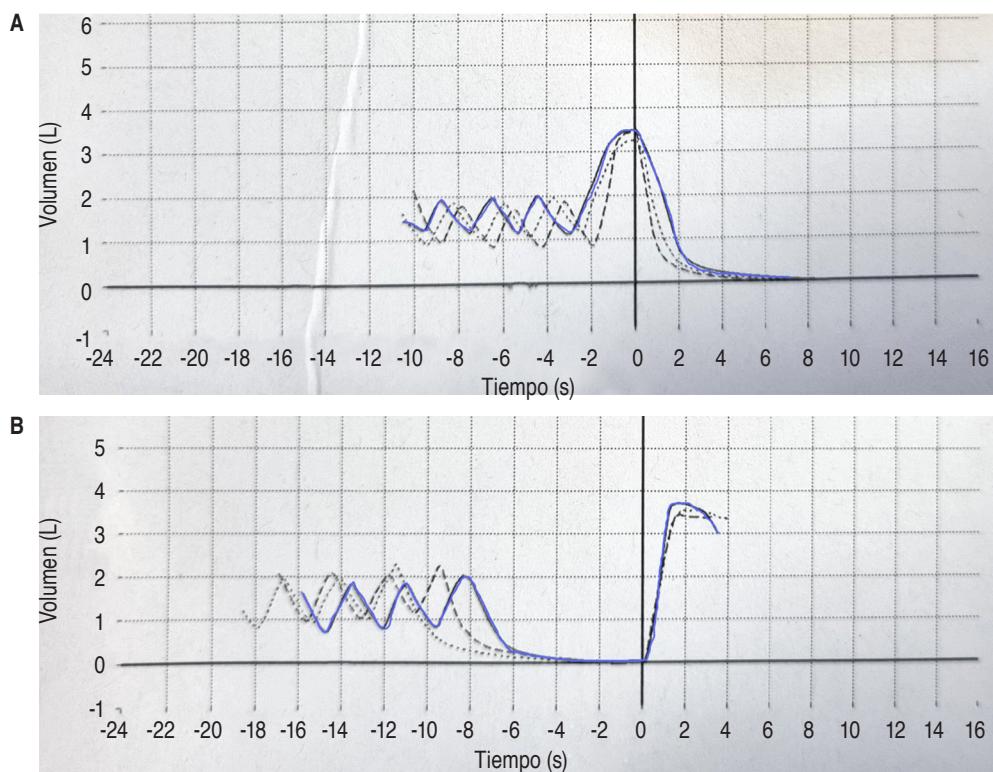


Figura 13:

A) Maniobras de capacidad vital lenta espiratoria. B) Maniobras de capacidad vital lenta inspiratoria.

Latina, el Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias de México estableció lineamientos de bioseguridad que aseguraron la continuidad de los servicios de fisiología respiratoria durante toda la pandemia.<sup>39</sup>

La espirometría, como otras pruebas de función respiratoria, es un procedimiento generador de aerosoles, que requiere la ejecución de maniobras respiratorias activas en proximidad con el personal que realiza la prueba y puede inducir tos. Además, los pacientes asintomáticos y presintomáticos son difíciles de detectar, independientemente del tamizaje realizado.<sup>40</sup> La misma pandemia nos ha demostrado lo relevante que es evaluar a los pacientes en el ámbito respiratorio y esto incluye la espirometría.<sup>5,38</sup> Para la reactivación completa y urgente de los centros que realizan esta prueba se debe establecer una jerarquía de control de riesgos, dando prioridad a los procesos que protegen al colectivo de trabajadores, sin descuidar la vigilancia de las medidas individuales.<sup>41</sup>

En momentos de pospandemia, todos los procedimientos de higiene y desinfección deben estar documentados en el manual de procedimientos interno. Del mismo modo, la programación de cada estudio debe considerar extender el tiempo entre pacientes, con ello se evita prolongar el tiempo de espera y la aglomeración de sujetos, reduciendo el riesgo de contagios. En la *Tabla 7* se resumen las medidas acordes al consenso internacional publicado por la Sociedad Europea Respiratoria.

## CONSIDERACIONES EN PEDIATRÍA

Con un entrenamiento adecuado, los niños de tan solo dos años y medio pueden realizar una espirometría aceptable.<sup>1</sup>

Se sugiere realizar primero las maniobras de volumen corriente (como oscilometría de impulso) y posteriormente la espirometría forzada, ya que las inhalaciones profundas pueden cambiar el tono bronquial de los niños con asma. Los niños presentan un alto retroceso elástico, por lo que estos pacientes pueden no alcanzar una meseta, en estos casos el indicador de término adecuado de la espiración forzada es la repetibilidad de la FVC. Los profesionales que participan en la realización de pruebas de función pulmonar de niños pequeños deben estar capacitados para trabajar con esta población. En la *Tabla 8* se resumen algunas recomendaciones en este tipo de pacientes.<sup>42,43</sup>

## ESPIROMETRÍA LENTA

La espirometría también puede realizarse de manera relajada o tranquila, dicha variante recibe el nombre de espirometría lenta. La maniobra lenta es cómoda de realizar, no requiere de un esfuerzo físico extenuante y provee información adicional a la maniobra forzada.

Las principales mediciones obtenidas a partir de la espirometría lenta son la SVC, que es el volumen espirado

lentamente desde la TLC hasta volumen residual (RV), y la capacidad inspiratoria (IC), que es el volumen de aire inspirado lentamente partiendo de una espiración a volumen corriente hasta una inspiración máxima a TLC. Es recomendable que se realice antes de cualquier maniobra forzada. La maniobra consiste en los siguientes pasos (*Tabla 9*):

1. Respiraciones a volumen corriente (al menos tres estables) y posteriormente solicitar al paciente que realice alguna de las siguientes opciones:
  - a) Inspiración profunda hasta TLC sin titubear y espiración relajada hasta RV (*Figura 13A*).
  - b) Espiración relajada hasta RV y posterior inspiración profunda hasta TLC (*Figura 13B*).

Las maniobras son relajadas y no forzadas. Por lo regular, los niveles máximos de inspiración y espiración se alcanzan en los primeros seis segundos, algunos pacientes pueden llegar a requerir más tiempo. La maniobra no debe ser excesivamente lenta, ya que esto puede subestimar la SVC. Así como ocurre en la espirometría forzada, se deben obtener al menos tres maniobras aceptables. Se recomienda un máximo de ocho intentos. Los criterios de aceptabilidad son los mismos que para la maniobra forzada. La repetibilidad se evalúa restando los valores de las dos mejores SVC, y éstos deben de ser:

La falta de repetibilidad en este estudio se debe, en la mayoría de los casos, a una inspiración incompleta. Para la SVC se debe reportar el valor más elevado de las maniobras aceptables. Para la IC, se debe reportar el promedio de las maniobras aceptables. La SVC y la IC son de utilidad para evaluar la respuesta al broncodilatador, utilizando como criterios de respuesta significativa una mejoría en 200 mL y 12% en alguna de las dos variables.

La FVC y la SVC en sujetos sin obstrucción al flujo aéreo muestra valores similares; sin embargo, en sujetos obstruidos, el colapso de la vía aérea pequeña y el atrapamiento aéreo en la maniobra forzada condicionan que la FVC sea menor que la SVC.

Las limitaciones de la espirometría lenta son su menor reproducibilidad con respecto a la maniobra forzada, menos estandarización y menos valores de referencia disponibles; pero, por otro lado, puede ser más sensible para detectar obstrucción al flujo del aire.

## REFERENCIAS

1. Graham BL, Steenbruggen I, Miller MR, Barjaktarevic IZ, Cooper BG, Hall GL, et al. Standardization of spirometry 2019 update. An official American thoracic society and European respiratory society technical statement. *Am J Respir Crit Care Med* [Internet]. 2019;200(8):e70-e88. Available in: <http://dx.doi.org/10.1164/rccm.201908-1590st>
2. Benítez PRE, Silva CM, Gochicoa RLG. Manual de procedimiento de espirometría forzada, departamento de fisiología respiratoria. Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias Ismael Cosío Villegas. México: INER, SSA; 2021.
3. 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* [Internet]. 2016;75(2):173-190. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.35366/67124>
4. Beydon N, Davis SD, Lombardi E, Allen JL, Arets HGM, Aurora P, et al. An official American Thoracic Society/European Respiratory Society statement: pulmonary function testing in preschool children. *Am J Respir Crit Care Med* [Internet]. 2007;175(12):1304-1345. Available in: <http://dx.doi.org/10.1164/rccm.200605-642st>
5. McGowan A, Laveneziana P, Bayat S, Beydon N, Boros PW, Burgos F, et al. International consensus on lung function testing during the COVID-19 pandemic and beyond. *ERJ Open Res* [Internet]. 2022;8(1):00602-2021. Available in: <http://dx.doi.org/10.1183/23120541.00602-2021>
6. Vázquez-García JC, Hernández-Zenteno RJ, Pérez-Padilla JR, Cano-Salas MC, Fernández-Vega M, Salas-Hernández J, et al. Guía de Práctica Clínica Mexicana para el diagnóstico y tratamiento de la enfermedad pulmonar obstructiva crónica. GUÍA MEXICANA DE EPOC, 2020. *Neumol Cir Torax* [Internet]. 2019;78(Suppl: 1):4-76. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.35366/nts191a>
7. 2023 GOLD Report [Internet]. Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease - GOLD. 2022 [cited August 21, 2023]. Available in: <https://goldcopd.org/2023-gold-report-2/>
8. Global Initiative for Asthma. Global strategy for asthma management and prevention, 2023. Updated May. 2023. Available in: <https://ginasthma.org/2023-gina-main-report/>
9. Larenas-Linneman D, Salas-Hernández J, Río-Navarro D, Luna-Pech BE, Navarrete-Rodríguez JA, Gochicoa EM. Manejo integral del asma. Lineamientos para México. *Rev Alerg Mex*. 2021;68(1):1-122.
10. Kreitzer SM, Saunders NA, Tyler HR, Ingram RH Jr. Respiratory muscle function in amyotrophic lateral sclerosis. *Am Rev Respir Dis* [Internet]. 1978;117(3):437-447. Available in: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/629478/>
11. Burakgazi AZ, Hoke A. Respiratory muscle weakness in peripheral neuropathies. *J Peripher Nerv Syst* [Internet]. 2010;15(4):307-313. Available in: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1529-8027.2010.00293.x>
12. Allen SM, Hunt B, Green M. Fall in vital capacity with posture. *Br J Dis Chest* [Internet]. 1985;79(3):267-271. Available in: [http://dx.doi.org/10.1016/0007-0971\(85\)90047-6](http://dx.doi.org/10.1016/0007-0971(85)90047-6)
13. Qaseem A, Wilt TJ, Weinberger SE, Hanania NA, Criner G, van der Molen T, et al. Diagnosis and management of stable chronic obstructive pulmonary disease: a clinical practice guideline update from the American College of Physicians, American College of Chest Physicians, American Thoracic Society, and European Respiratory Society. *Ann Intern Med* [Internet]. 2011;155(3):179-191. Available in: <http://dx.doi.org/10.7326/0003-4819-155-3-201108020-00008>
14. US Preventive Services Task Force, Mangione CM, Barry MJ, Nicholson WK, Cabana M, Caughey AB, et al. Screening for chronic obstructive pulmonary disease: US Preventive Services Task Force reaffirmation recommendation statement: US preventive services task force reaffirmation recommendation statement. *JAMA* [Internet]. 2022;327(18):1806-1811. Available in: <http://dx.doi.org/10.1001/jama.2022.5692>

15. García-Río F, Calle M, Burgos F, Casan P, Del Campo F, Galdiz JB, et al. Spirometry. Spanish Society of Pulmonology and Thoracic Surgery (SEPAR). *Arch Bronconeumol* [Internet]. 2013;49(9):388-401. Available in: <https://doi.org/10.1016/j.arbres.2013.04.001>
16. Sin DD, Wu L, Man SFP. The relationship between reduced lung function and cardiovascular mortality: a population-based study and a systematic review of the literature. *Chest* [Internet]. 2005;127(6):1952-1959. Available in: <http://dx.doi.org/10.1378/chest.127.6.1952>
17. Qaseem A, Snow V, Fitterman N, Hornbake ER, Lawrence VA, Smetana GW, et al. Risk assessment for and strategies to reduce perioperative pulmonary complications for patients undergoing noncardiothoracic surgery: a guideline from the American College of Physicians. *Ann Intern Med* [Internet]. 2006;144(8):575-580. Available in: <http://dx.doi.org/10.7326/0003-4819-144-8-200604180-00008>
18. Redlich CA, Tarlo SM, Hankinson JL, Townsend MC, Eschenbacher WL, Von Essen SG, et al. Official American Thoracic Society technical standards: spirometry in the occupational setting. *Am J Respir Crit Care Med* [Internet]. 2014;189(8):983-993. Available in: <http://dx.doi.org/10.1164/rccm.201402-0337ST>
19. Davis PB. Pathophysiology of the lung disease in cystic fibrosis. In: Davis PB, editors. *Cystic fibrosis*. New York: Marcel Dekker; 1993.
20. Kapnatak SG, Dimango E, Hadjiliadis D, Hempstead SE, Tallarico E, Pilewski JM, et al. Cystic Fibrosis Foundation consensus guidelines for the care of individuals with advanced cystic fibrosis lung disease. *J Cyst Fibros* [Internet]. 2020;19(3):344-354. Available in: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcf.2020.02.015>
21. Hamblly N, Farooqi MM, Dvorkin-Gheva A, Donohoe K, Garlick K, Scallan C, et al. Prevalence and characteristics of progressive fibrosing interstitial lung disease in a prospective registry. *Eur Respir J* [Internet]. 2022;60(4):2102571. Available in: <http://dx.doi.org/10.1183/13993003.02571-2021>
22. Finder JD, Birnkrant D, Carl J, Farber HJ, Gozal D, Iannaccone ST, et al. Respiratory care of the patient with Duchenne muscular dystrophy: ATS consensus statement: ATS consensus statement. *Am J Respir Crit Care Med* [Internet]. 2004;170(4):456-465. Available in: <http://dx.doi.org/10.1164/rccm.200307-885ST>
23. Bushby K, Finkel R, Birnkrant DJ, Case LE, Clemens PR, Cripe L, et al. Diagnosis and management of Duchenne muscular dystrophy, part 2: implementation of multidisciplinary care. *Lancet Neurol* [Internet]. 2010;9(2):177-189. Available in: [http://dx.doi.org/10.1016/S1474-4422\(09\)70272-8](http://dx.doi.org/10.1016/S1474-4422(09)70272-8)
24. Birnkrant DJ, Bushby KMD, Amin RS, Bach JR, Benditt JO, Eagle M, et al. The respiratory management of patients with Duchenne muscular dystrophy: a DMD care considerations working group specialty article: Duchenne muscular dystrophy. *Pediatr Pulmonol* [Internet]. 2010;45(8):739-748. Available in: <http://dx.doi.org/10.1002/ppul.21254>
25. Bossi G, Cerveri I, Volpini E, Corsico A, Baio A, Corbella F, et al. Long-term pulmonary sequelae after treatment of childhood Hodgkin's disease. *Ann Oncol* [Internet]. 1997;8(suppl 1):S19-S24. Available in: [http://dx.doi.org/10.1093/annonc/8.suppl\\_1.s19](http://dx.doi.org/10.1093/annonc/8.suppl_1.s19)
26. Cooper BG. An update on contraindications for lung function testing. *Thorax* [Internet]. 2011;66(8):714-723. Available in: <http://dx.doi.org/10.1136/thx.2010.139881>
27. Anaesthetic and respiratory equipment: spirometers intended for the measurement of time forced expired volumes in humans. International Organization for Standardization. 2016. Available in: <https://www.iso.org/standard/43761.html>
28. Miller MR, Hankinson J, Brusasco V, Burgos F, Casaburi R, Coates A, et al. Standardisation of spirometry. *Eur Respir J* [Internet]. 2005;26(2):319-338. Available in: <http://dx.doi.org/10.1183/09031936.05.00034805>
29. Benítez-Pérez RE, Vázquez-García JC, Sánchez-Gallén E, Salas-Hernández J, Pérez-Padilla R, Reyes-Herrera A, et al. Impacto de un programa educativo de espirometría en el primer nivel de atención en México. *Neumol Cir Torax* [Internet]. 2021;80(1):29-38. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.35366/99451>
30. Vázquez-García JC, Ortiz-Siordia R, Franco-Marina F, Salas-Hernández J, Benítez-Pérez RE, Pérez-Padilla R. Impacto de un curso taller de cinco horas en la interpretación de la espirometría. *Neumol Cir Torax* [Internet]. 2019;78(3):270-276. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.35366/nt193b>
31. Johnson B, Steenbrugge I, Graham BL, Coleman C. Improving spirometry testing by understanding patient preferences. *ERJ Open Res* [Internet]. 2021;7(1):00712-2020. Available in: <http://dx.doi.org/10.1183/23120541.00712-2020>
32. Supplemental Material for: Standardization of Spirometry - 2019 Update: An Official American Thoracic Society and European Respiratory Society Technical Statement. Available in: [https://www.atsjournals.org/doi/suppl/10.1164/rccm.201908-1590ST/suppl\\_file/graham\\_data\\_supplement.pdf](https://www.atsjournals.org/doi/suppl/10.1164/rccm.201908-1590ST/suppl_file/graham_data_supplement.pdf)
33. CDC LC. Quick learn: recognize the four biosafety levels [Internet]. Cdc.gov. [cited August 21, 2023]. Available in: <https://www.cdc.gov/training/quicklearns/biosafety/>
34. Rasam SA, Apte KK, Salvi SS. Infection control in the pulmonary function test laboratory. *Lung India* [Internet]. 2015;32(4):359-366. Available in: <http://dx.doi.org/10.4103/0970-2113.159571>
35. Franczuk M, Przybylowski T, Czajkowska-Malinowska M, Radlinski J, Bochenek G, Wesolowski S, et al. Spirometry during the SARS-CoV-2 pandemic. Guidelines and practical advice from the expert panel of Respiratory Physiopathology Assembly of Polish Respiratory Society. *Adv Respir Med* [Internet]. 2020;88(6):640-650. Available in: <http://dx.doi.org/10.5603/ARM.a2020.0186>
36. Respiratory function testing during endemic COVID-19 [Internet]. Org. uk. [cited August 22, 2023]. Available in: [https://www.artp.org.uk/write/MediaUploads/Standards/COVID19/Respiratory\\_Function\\_Testing\\_During\\_Endemic\\_COVID\\_V1.5.pdf](https://www.artp.org.uk/write/MediaUploads/Standards/COVID19/Respiratory_Function_Testing_During_Endemic_COVID_V1.5.pdf)
37. Milanese M, Corsico AG, Bellofiore S, Carrozzi L, Di Marco F, Iovene B, et al. Suggestions for lung function testing in the context of COVID-19. *Respir Med* [Internet]. 2020;177:106292. Available in: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rmed.2020.106292>
38. Saunders MJ, Haynes JM, McCormack MC, Stanojevic S, Kaminsky DA. How local SARS-CoV-2 prevalence shapes pulmonary function testing laboratory protocols and practices during the COVID-19 pandemic. *Chest* [Internet]. 2021;160(4):1241-1244. Available in: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chest.2021.05.011>
39. Gochicoa-Rangel L, Torre-Bouscoulet L, Salles Rojas A, Guzmán-Valderrábano C, Silva-Cerón M, Benítez-Pérez RE, et al. Functional respiratory evaluation in the COVID-19 era: the role of pulmonary function test laboratories. *Rev Invest Clin* [Internet]. 2020;73(4). Available in: <http://dx.doi.org/10.24875/ric.20000250>
40. Sheikh S, Hamilton FW, Nava GW, Gregson FKA, Arnold DT, Riley C, et al. Are aerosols generated during lung function testing in patients and healthy volunteers? Results from the AERATOR study. *Thorax* [Internet]. 2022;77(3):292-294. Available in: <http://dx.doi.org/10.1136/thoraxjnl-2021-217671>
41. Verbeek JH, Rajamaki B, Ijaz S, Sauni R, Toomey E, Blackwood B, et al. Personal protective equipment for preventing highly infectious

- diseases due to exposure to contaminated body fluids in healthcare staff. Cochrane Database Syst Rev [Internet]. 2020;5(5):CD011621. Available in: <http://dx.doi.org/10.1002/14651858.cd011621.pub5>
42. Crenesse D, Berlioz M, Bourrier T, Albertini M. Spirometry in children aged 3 to 5 years: reliability of forced expiratory maneuvers. *Pediatr Pulmonol* [Internet]. 2001;32(1):56-61. Available in: <http://dx.doi.org/10.1002/ppul.1089>
43. Piccioni P, Borraccino A, Forneris MP, Migliore E, Carena C, Bignamini E, et al. Reference values of forced expiratory volumes and pulmonary flows in 3-6 year children: a cross-sectional study. *Respir Res* [Internet]. 2007;8(1):14. Available in: <http://dx.doi.org/10.1186/1465-9921-8-14>
44. Culver BH, Graham BL, Coates AL, Wanger J, Berry CE, Clarke PK, et al. Recommendations for a standardized pulmonary function report. An official American Thoracic Society technical statement. *Am J Respir Crit Care Med* [Internet]. 2017;196(11):1463-1472. Available in: <http://dx.doi.org/10.1164/rccm.201710-1981ST>

**Conflictos de intereses:** los autores declaran no tener conflicto de intereses.