

# Documentación filmográfica de la ventilación mecánica en un modelo animal

Filmed documentation of mechanical ventilation in an animal model

Sebastián González<sup>1</sup>, Nicolás Monteverde<sup>2</sup>, Santiago González<sup>3</sup>, Carlos Olagüe<sup>4</sup>, Lucía Vaamonde<sup>5</sup>, Fernanda Blasina<sup>6</sup>, María Eugenia Hernández<sup>1</sup>, Javier Martínez<sup>7</sup>, Ema Benech<sup>8</sup>, Mercedes Ruibal<sup>2</sup>, Rosanna Silveira<sup>9</sup>, Rodrigo Escobar<sup>10</sup>, Fernando Silvera<sup>11</sup>, Amanda Menchaca<sup>12</sup>, Miguel Martell<sup>13</sup>

## Resumen

**Introducción:** el aprendizaje de la ventilación mecánica (VM) pediátrica requiere de tiempo y diversas estrategias educativas. En los últimos años se han utilizado los videopodcast para la educación médica.

**Objetivos:** documentación filmográfica de los elementos básicos de la mecánica respiratoria durante la VM en un modelo animal. Creación de un videopodcast para la formación de recursos humanos especializados en VM pediátrica.

**Metodología:** se prepararon diferentes secuencias de VM con ventilador y en forma manual. Se realizó exposición pulmonar mediante toracotomía y VM convencional en un cerdo. Se grabó simultáneamente lo monitorizado por el ventilador y la visualización in vivo del pulmón expuesto ante cada secuencia. Dos especialistas en cuidados intensivos pediátricos analizaron durante la edición las grabaciones y confeccionaron un guión explicativo de lo observado.

**Resultados:** se editó un video con las diferentes

secuencias previstas: VM basal, VM sin presión positiva teleespiratoria (PEEP), VM con niveles incrementales de PEEP, VM con bolsa autoinflable, aspiración de sonda endotraqueal con circuito cerrado y abierto durante VM con ventilador y manual con operador. Se editó un videopodcast con leyendas explicativas.

**Discusión:** la utilización de recursos digitales para la enseñanza y divulgación de diversas especialidades médicas es cada vez más frecuente. El videopodcast se ha expandido como una nueva herramienta educativa. Se construyó un modelo para la capacitación de los recursos humanos en VM mediante este formato. La experiencia servirá para construir una videoteca universitaria dirigida a la enseñanza de cuidados críticos del niño y para la divulgación de experimentos biomédicos.

**Palabras clave:** RESPIRACIÓN ARTIFICIAL  
MECÁNICA RESPIRATORIA  
PELÍCULAS Y VIDEOS EDUCATIVOS  
MODELOS ANIMALES

1. Asistente de la Unidad de Cuidados Intensivos de Niños. Centro Hospitalario Pereira Rossell (UCIN-CHPR). Facultad de Medicina. UDELAR. Uruguay.
  2. Pediatra Intensivista de la Unidad de Cuidados Intensivos de Niños. Centro Hospitalario Pereira Rossell (UCIN-CHPR).
  3. Licenciado en Ciencias de la Comunicación y Docente Asistente de la Facultad de Información y Comunicación (FIC – UDELAR). Montevideo. Uruguay.
  4. Ex-Asistente de la Unidad de Cuidados Intensivos de Niños. Centro Hospitalario Pereira Rossell (UCIN-CHPR). Facultad de Medicina. UDELAR. Uruguay.
  5. Prof. Adj. Depto. Neonatología, Hospital de Clínicas, Facultad de Medicina. UDELAR. Uruguay
  6. Prof. Agda. Depto. Neonatología, Hospital de Clínicas, Facultad de Medicina. UDELAR. Uruguay.
  7. Residente de la Unidad de Cuidados Intensivos de Niños. Centro Hospitalario Pereira Rossell (UCIN-CHPR). Facultad de medicina. UDELAR. Uruguay.
  8. Postgrado de la Unidad de Cuidados Intensivos de Niños. Centro Hospitalario Pereira Rossell (UCIN-CHPR). Facultad de medicina. UDELAR. Uruguay.
  9. Asistente del Dpto. Neonatología, Hospital de Clínicas, Facultad de Medicina. UDELAR. Uruguay
  10. Ayudante del Dpto. Neonatología, Hospital de Clínicas, Facultad de Medicina. UDELAR. Uruguay.
  11. Prof. Agdo. Depto de Neonatología, Centro Hospitalario Pereira Rossell. Facultad de Medicina. UDELAR. Uruguay.
  12. Prof. Dra. de la Unidad de Cuidados Intensivos de Niños. Centro Hospitalario Pereira Rossell (UCIN-CHPR). Facultad de medicina. UDELAR. Uruguay.
  13. Prof. Emer. De Neonatología. Facultad de Medicina, UDELAR. Uruguay.
- Unidad de Cuidados Intensivos de Niños del Centro Hospitalario Pereira Rossell (UCIN-CHPR)  
Depto. Neonatología. Hospital de Clínicas. Facultad de Medicina. UDELAR.  
Trabajo inédito.  
Declaro no tener conflictos de intereses y sin financiación externa.

## Summary

**Introduction:** *learning about mechanical ventilation (MV) in pediatrics requires time and several educational strategies. In recent years, videopodcast has been used for medical training.*

**Objectives:** *to prepare a filmed documentary of the basic elements in respiratory mechanics during MV in an animal model. To create a videopodcast to train human resources specialized in MV in pediatrics.*

**Material:** *different sequences of MV with ventilator and manual ventilation were prepared. Lungs were accessed through thoracotomy and MV was started in a pig. Monitored data from the ventilator was simultaneously recorded, the same as the live visualization of the visible lung for each sequence. Two specialists in pediatrics intensive care analysed the recording while it was edited and composed a script explaining what was observed.*

**Results:** *a video was edited with the different sequences expected: basal MV, MV with zero PEEP, increasing PEEP levels, MV with self-inflating bag, traqueal suction with open and closed traqueal suction systems and manual ventilation with an operator. A videopodcast with explanatory subtitles was edited.*

**Discussion:** *digital resources are increasingly being used to train physicians and disseminate several medical techniques. Today, videopodcast constitutes a new educational tool. A model was designed to train human resources in MV under this format. This experience will be used to build up a new university video library to assist the training in pediatric critical care and to disseminate biomedical experiments.*

**Key words:** RESPIRATION, ARTIFICIAL RESPIRATORY MECHANICS INSTRUCTIONAL FILMS AND VIDEOS MODELS, ANIMAL

## Introducción

Durante las estaciones de epidemia respiratoria, la mitad de los niños ingresados en las Unidades de Cuidados Intensivos Pediátricos (UCIP) requieren ventilación mecánica (VM)<sup>(1)</sup>. Los equipos utilizados en la actualidad para aplicar VM (ventiladores), tienen entre sus prestaciones una enorme capacidad de monitorización que brindan al clínico información muy valiosa para evaluar la función del sistema respiratorio en fallo.

El software de estos ventiladores permite la observación en tiempo real de las gráficas de presión, flujo y volumen en función del tiempo. Éstas posibilitan el análisis y comprensión de elementos de la mecánica respiratoria del enfermo y la interacción del paciente con el ventilador<sup>(2)</sup>.

Por mecánica respiratoria se entiende a la expresión de la función pulmonar a través de medidas de presión y flujo, pudiendo a través de éstas determinar parámetros de muchos índices respiratorios (como ser volúmenes, compliance, resistencia y trabajo respiratorio). Con ellos se pueden proveer trazados a escala de las relaciones de presión, volumen o flujos en función del tiempo y bucles de presión en función del volumen<sup>(3)</sup>. Esta monitorización es útil al momento de evaluar la respuesta a los tratamientos instaurados y optimizar el soporte ventilatorio que el paciente requiere, así como alertar al clínico de diferentes circunstancias de riesgo (como por ejemplo niveles de ventilación injuriosas). La monitorización de la mecánica respiratoria por ende, permite maximizar la protección del pulmón ventilado.

A pesar de que esta monitorización es de gran ayuda, aún el pulmón sigue siendo invisible al ojo clínico. Aunque desde hace años el desarrollo de nuevas tecnologías como la tomografía por impedancia eléctrica ha permitido hacer más “visible” el pulmón ventilado a la cama del paciente<sup>(4)</sup>, el intensivista sólo puede hacer inferencias del estado pulmonar a tiempo real a través del análisis de la mecánica pulmonar.

Durante la formación académica de los recursos humanos dedicados a la atención de niños graves (emergencistas, anestesistas, neonatólogos e intensivistas pediátricos), la adquisición de destrezas en VM es fundamental. Para el intensivista pediátrico en particular, el aprendizaje de la VM involucra gran porcentaje de su tiempo de posgrado. Dentro de la currícula obligatoria en formación de posgrados de cuidados críticos pediátricos nacional, el módulo de “Sistema Respiratorio” representa el 25% del total del tiempo requerido para adquirir el título de posgrado en terapia intensiva pediátrica. La enseñanza de la VM pediátrica en nuestro país se ha basado en clases teóricas e instancias prácticas con ventiladores convencionales en la que los posgrados

aplican sus nuevos conocimientos frente a la monitorización que les brindan los ventiladores tras simulación de situaciones clínicas y con pulmones artificiales conectados a las tubuladuras del ventilador. ¿Hay al día de hoy otros recursos docentes para que el residente tenga nuevas herramientas de aprendizaje en esta materia?

En el último decenio y a partir de la irrupción de tecnologías como el iPod (desarrollada por la Compañía Apple en el 2001) que permiten un rápido y cómodo acceso a diversos formatos de archivo (audio y video) de información digital, surgen los “podcasts”. Este implemento, viene siendo cada vez más utilizado como herramienta educativa en medicina<sup>(5)</sup>.

Con este trabajo pretendimos diseñar un modelo animal que permitiera observar a tiempo real el estado pulmonar durante la VM para que el posgrado coteje mediante la monitorización brindada por un ventilador convencional, la observación directa del pulmón durante algunas secuencias de ventilación artificial. Esto permitiría crear una nueva herramienta educativa al alcance del estudiante.

Se busca mostrar cómo se ven *in vivo* los cambios aplicados en los controles de un ventilador y generar un archivo filmográfico que pueda ser utilizado como “videopodcast” para la enseñanza académica de cualquier profesional que aplique VM en niños. Se hará especial énfasis en el análisis de algunos aspectos de daño pulmonar vinculados a la aplicación de esta terapia de soporte vital.

## Objetivos

- Principal: documentación mediante filmación directa de los elementos básicos de la mecánica respiratoria durante la VM en un modelo animal.
- Secundario: generación de una videoteca universitaria disponible para la formación de recursos humanos especializados en VM pediátrica mediante el formato de videopodcast.

## Material y método

### Sitio de experimentación

El desarrollo del modelo y la filmación se realizó en el Laboratorio experimental del Área Básica del Departamento de Neonatología del Hospital de Clínicas.

### Modelo animal

El estudio se realizó siguiendo los principios éticos que regulan la experimentación animal determinados por la Declaración de Helsinki, la Sociedad Americana de Fisiología y la Comisión Honoraria de Experimentación

Animal de la Universidad de la República, Uruguay (D.O. 21/2/00, Resolución no 4 del CDC 4/12/2001). Protocolo aprobado No 071140 - 001741 - 06.

Se utilizó un cerdo recién nacido, de 48 h de vida, procedente de criadero local (Granja La Familia) con peso de 1800 g. Se realizó sedación y analgesia intravenosa en base a mezcla de midazolam, fentanilo y ketamina. Se tituló la dosis clínicamente para lograr anestesia general intravenosa total y abolir respiraciones espontáneas.

Se realizó traqueotomía quirúrgica (sonda endotraqueal o SET número 3 sin balón) y conectó a VM con un respirador Neumovent® Graphnet. Se seleccionó modo controlado por presión (PCV, del inglés *pressure control ventilation*).

Posteriormente se realizó toracotomía posterolateral izquierda con exposición pulmonar y visualización de la cavidad torácica y su contenido.

Se cateterizó en forma descubierta la vena yugular interna izquierda para infusión de medicaciones. Para aporte de fluidos se utilizó suero con dextrosa al 5% a 70 ml/h/día. Se mantuvo la temperatura central del animal en condiciones basales (38,5 a 39,5° C) con sistema de calefacción por calor Thermacare® y bolsa de plástico aislante 3M®.

La monitorización fue clínica (color, perfusión y pulsos distales, diuresis) frecuencia respiratoria (FR), frecuencia cardíaca (FC), y con instrumentos de medición de constantes vitales: presión arterial sistémica (PAS) invasiva con cateterismo de arteria femoral, saturometría de pulso (SatO<sub>2</sub>), temperatura rectal con termómetro.

Un vez terminado el experimento, se realizó eutanasia con KCL 10% 10 ml en bolo venoso.

### Experimento (filmación)

Luego de preparado el modelo animal, se realizó filmación de diferentes secuencias de VM. Se utilizaron dos cámaras fotográficas en modo filmación: Canon Legría HF S200® y Canon Rebel T2i 400®. La cámara 1 mostró las secuencias programadas con enfoque del pulmón expuesto y la cámara 2 el monitor de constantes vitales y la pantalla del respirador.

Las secuencias programadas fueron las siguientes:

- **Secuencia 1 (ventilación basal).** FR 25 PEEP 5 PIM 15 FIO<sub>2</sub> 40% Ti 0,34 Relación i-e 1:2
- **Secuencia 2 (ventilación sin PEEP).** Ventilación mecánica sin aplicación de PEEP: FR 25 FIO<sub>2</sub> 40%, Ti 0,34 Te 1,5 Relación i-e 1:3 PEEP 0 PIM 10. Luego se aplicaron 5 cm H<sub>2</sub>O de PEEP sin cambiar otros parámetros, volviendo a la situación basal.

- **Secuencia 3 (aumento de niveles de PEEP).** Aplicación de niveles de PEEP variables 5, 10, 15, 20, 25, 30 cm H<sub>2</sub>O, con DP 10 cm H<sub>2</sub>O y FR 25 constantes, FIO<sub>2</sub> 21%, los cambios se realizaron cada 30 segundos. Posteriormente se volvió a situación basal.
- **Secuencia 4 (ventilación manual con bolsa autoinflable).** Se utilizó ventilación con bolsa (Ambú®) y válvula de PEEP, simulando situación de desconexión del ventilador y reconexión a una ventilación manual con bolsa. Se realizaron 10 ventilaciones con bolsa, se midió presión del Ambú® con manómetro. Se observaron cambios pulmonares con distintas presiones de insuflación. Se retiró válvula de PEEP en el proceso.
- **Secuencia 5 (aspiración de sonda endotraqueal con circuito cerrado).** Estando en condiciones basales, se instiló 1 ml de suero fisiológico y se aspiró durante 5 segundos con circuito cerrado de aspiración. Luego se realizó el mismo procedimiento sin circuito cerrado durante 5 segundos más. Todo el procedimiento se realizó en situación de VM basal. El nivel de vacío para aspiración fue seleccionado por la enfermera que realizó el procedimiento según su práctica clínica habitual.
- **Secuencia 6 (aspiración abierta de sonda endotraqueal).** Estando en condiciones de VM basal se desconectó sonda del ventilador y tras breves insuflaciones manuales con bolsa se instiló 1 ml de suero fisiológico. Luego se aspiró de forma abierta (con desconexión) durante 5 segundos y posteriormente se reconectó al ventilador artificial. El nivel de vacío para aspiración fue seleccionado de la misma forma que la secuencia previa.

### Análisis y edición

Una vez finalizada la etapa de filmación, dos expertos en terapia intensiva respiratoria (coautores) diseñaron un guión escrito, con las observaciones de las secuencias filmadas. Posteriormente se trabajó en la edición del guión y las secuencias filmadas en una isla de edición. Nos propusimos que cada secuencia filmada y editada contara en la pantalla visible, lo filmado por cada cámara, de tal manera que el que observe el video pueda contar con la visualización directa y simultánea de lo que mostraba la pantalla del ventilador, el monitor de parámetros vitales y lo que sucedía en el pulmón del animal. Se agregaron círculos, flechas y leyendas según lo destacado por los especialistas.

Se utilizó el programa Adobe Premiere Pro 5.5® para la edición de los videos. Se confeccionaron placas explicativas de lo observado en los procedimientos y una “voz en off” fue leyéndolas a manera explicativa de lo

observado. Se almacenaron los datos en formato HD 1920 x 1080.

El videopodcast tendría acceso libre y su distribución sería bajo los términos de la Creative Commons Attribution Noncommercial License, que permitiría su uso no comercial, reproducción y distribución no restringidos en ningún medio, siempre y cuando se acredite la autoría y fuente original. La publicación del videopodcast se realizaría en la/ las Red/es Social/es que decidieran los autores.

La nomenclatura utilizada fue la siguiente:

- Frecuencia respiratoria (FR) en respiraciones por minuto (RPM).
- Tiempo inspiratorio (Ti) y espiratorio (Te) en segundos (s).
- Presión teleespiratoria (PEEP) en cm H<sub>2</sub>O.
- Presión inspiratoria máxima (PIM) en cm H<sub>2</sub>O.
- Delta presión o driving pressure (DP) en cm H<sub>2</sub>O.
- Fracción inspirada de oxígeno (FiO<sub>2</sub>) en porcentaje (%).
- Volumen tidal o corriente (Vt o Vc).
- Relación i-e (inspiración-espiración).

### Resultados

Se editó un video de 15:45 minutos de duración.

La versión final se publicó en Youtube con acceso restringido tras invitación en la siguiente dirección:

<https://youtu.be/QDitsygVs1E>

La transcripción del guión de cada una de las secuencias o placas fue la siguiente:

#### Placa 1 (minuto 00:00)

Advertencia para el juicio profesional.

Los procedimientos médicos invasivos pueden resultar en daños a los pacientes y a quienes lo practican, y deberían ser realizados solamente por profesionales médicos calificados.

Este video intenta suplementar los conocimientos médicos y nunca reemplazarán el entrenamiento apropiado y la supervisión por instructores calificados.

Los procedimientos realizados en este experimento fueron regidos por los principios éticos que regulan la experimentación animal, determinada por la declaración de Helsinki, la Sociedad Americana de Fisiología, y la Comisión Honoraria de Experimentación Animal (D.O. 21/2/00, Resolución no 4 del CDC 4/12/2001. Protocolo aprobado No 071140 - 001741 – 06) de la Universidad de la República (UDELAR). Uruguay.

#### Placa 2 (minuto 00:04)

Logos de instituciones participantes.

### Placa 3 (minuto 00:09)

Título del trabajo y autorías de trabajo de campo.

### Placa 4 (minuto 00:18)

(Aclaración)

Voz: como se ve en la imagen el pulmón normal tiene aspecto rosado (foto de pulmón sano).

Durante la preparación de nuestro modelo, el pulmón expuesto fue traumatizado involuntariamente en el lóbulo inferior, por lo que se verá una zona hemorrágica correspondiente a una contusión pulmonar.

Esta zona de alvéolos hemorrágicos, inadecuadamente ventilados, presenta una mayor tendencia al colapso y pueden determinar hipoxemia e hipercapnia consecuencia de una relación ventilación – perfusión (v/q) baja.

### Placa 5 (minuto 00:47)

Objetivos, materiales y métodos.

Voz: descripción de objetivos, materiales y métodos utilizados.

### Placa 6 (minuto 01:53)

Ventilación basal

Voz: este ventilador presenta en la pantalla la fase inspiratoria de color verde y la espiratoria en color rojo. Observe morfología de las curvas de este modo ventilatorio y cotéjelos con el pulmón.

**Curva de presión cuadrada**, idéntica en todos los ciclos, donde la presión pico, que es la variable de control, no puede ser superada. Este límite de presión, se mantiene constante durante todo el tiempo inspiratorio, es decir durante toda la inspiración. En este modo la presión pico es igual a la presión meseta.

**Curva de volumen:** el volumen varía ciclo a ciclo. Se constata una fuga de volumen evidenciado por un escalón previo al comienzo del ciclo, correspondiente a la diferencia entre el volumen corriente inspiratorio y el volumen espiratorio. (flecha o círculo en el registro del monitor)

**Curva de flujo:** se reconoce un pico flujo inspiratorio máximo, con desaceleración posterior, formando una onda de flujo desacelerada característica de los modos presurométricos.

### Placa 7 (minuto 03:03)

Ventilación sin PEEP

Voz: en esta secuencia se muestra la ventilación mecánica manteniendo constantes los parámetros de FR, tiempo inspiratorio y presión sobre PEEP (llamada delta presión o “*driving pressure*”), modificando únicamente la PEEP.

Disminuimos su valor a cero, volviendo posteriormente a los parámetros iniciales con una PEEP de 5.

Observe que durante la ventilación sin PEEP, macroscópicamente el pulmón se colapsa durante la espiración y el área hemorrágica se evidencia francamente. Observe en el monitor del ventilador el menor volumen corriente durante la ventilación con PEEP cero. Al recolocar la PEEP de 5 observe:

Macroscópicamente se evidencia en forma sutil como se restablece la capacidad residual funcional, evitando el colapso espiratorio, sin cambios macroscópicos significativos en la zona hemorrágica.

En el monitor del ventilador tras la aplicación de PEEP se evidencia el aumento del volumen corriente nuevamente a sus valores basales. Observe los cambios en las curvas:

- Curva de presión con aumento de la presión pico
- Curva de volumen, con aumento del volumen
- Curva de flujo, con aumento del pico flujo (aprox 30%) (señalado con círculo), lo que traduce una mejor compliance.

### Placa 8 (minuto 04:28)

Ventilación con distintos niveles de PEEP

Voz: aquí se muestra la ventilación mecánica manteniendo constantes la frecuencia respiratoria, los tiempos y presión sobre PEEP (delta P), realizando aumentos sucesivos en la PEEP.

Se verá la importancia de ventilar con PEEP, y seleccionarla en un valor que mantenga la zona contusiva participando de la ventilación, es decir reclutada. Este nivel de PEEP que debe seleccionarse o titularse, deberá evitar el colapso de la zona contusiva, principalmente durante la espiración, para que la presión o fuerza necesaria para insuflar estos alveolos en el ciclo siguiente sea menor y evitar el cierre y apertura cíclica de los alvéolos.

El cierre espiratorio y apertura inspiratoria en forma cíclica determina lesiones conocidas como atelectrauma, como consecuencia del fenómeno llamado reclutamiento por volumen corriente. Por otro lado el nivel de PEEP a seleccionar deberá evitar la sobredistensión exagerada de la zona sana, en este caso de los lóbulos superiores, ya que van a partir de una distensión espiratoria y se distenderán aún más, al recibir el volumen insuflado durante la inspiración, predisponiéndolos al barotrauma y la lesión inflamatoria por sobredistensión.

Como se verá, al tratarse de un pulmón muy inhomogéneo, con una gran zona colapsada y zonas sanas que se hiperinsuflan con facilidad, el valor de PEEP que se coloque debe tolerar cierto grado de colapso y cierto grado de hiperinsuflación simultáneamente, ya que un valor

muy bajo predominaría el colapso y un valor muy alto predispondría a la hiperinsuflación.

Si bien hay muchas estrategias para titular la mejor PEEP, que excede el propósito de este video, el valor de esta PEEP se encontrará en un rango de valores, donde se encuentre la mejor compliance considerando todo el sistema respiratorio. Se deberá considerar la repercusión hemodinámica que esta PEEP determine por la ineludible interacción entre ambos sistemas, en vistas a adoptar medidas para apoyar la hemodinamia según sea necesario.

Con una PEEP de 5 cm H<sub>2</sub>O, vea cómo la zona contusiva se mantiene con aspecto hemorrágico. Constituida por alveolos ocupados la contusión determina una zona con escasa participación en la ventilación.

Observe la ventilación de los lóbulos superiores sanos, éstos se distienden durante la insuflación. El volumen insuflado se dirige principalmente a estas zonas del pulmón con mejor compliance. Con este valor de PEEP el pulmón es inhomogéneo ya que coexisten zonas colapsadas como la contusión y zonas ventiladas en los lóbulos superiores.

Al aumentar la PEEP a 15 cm H<sub>2</sub>O, se evidencia una hiperinsuflación marcada en los lóbulos superiores durante la insuflación, la cual se mantiene también durante la espiración. En ese momento el pulmón presenta una gran asimetría coexistiendo una gran zona contusiva principalmente colapsada y una zona hiperinsuflada durante todo el ciclo respiratorio en los lóbulos superiores.

Tras algunos ciclos respiratorios en la zona contusiva, se empieza a evidenciar de a poco, zonas parcheadas, mejor aireadas, con reversión del aspecto hemorrágico y participación gradual en la ventilación. Este nivel de PEEP determina que se abran progresivamente unidades alveolares colapsadas y se mantengan abiertas al final de la espiración, revirtiendo el colapso previo y haciendo al pulmón más homogéneo en su ventilación.

Si observamos la monitorización ofrecida por el monitor, al aumentar la PEEP a 15 cm H<sub>2</sub>O se evidencia una caída inicial del volumen tidal, con posterior aumento progresivo a medida que se suman a la ventilación unidades alveolares de la zona hemorrágica. El aumento de la PEEP a 20 cm H<sub>2</sub>O revierte aún más el colapso pero determinando más hiperinsuflación. Aumentos progresivos a PEEP a 25 y 30 cm H<sub>2</sub>O, determina que la zona contusiva desaparezca, pero con una hiperinsuflación exagerada con protrusión del pulmón fuera del tórax. La PEEP colocada en 30 cm H<sub>2</sub>O en este modelo determina una nula excursión torácica y pulmonar con mínima ventilación.

Es de destacar que la mínima repercusión hemodinámica que se evidencia en este modelo de experimentación durante la colocación de PEEP tan elevadas como para generar una protrusión del pulmón, se debe justamente a la presencia de la toracotomía, que impide que se genere una

presión intratorácica sumamente elevada como para repercutir sobre la función cardíaca.

Al volver a descender la PEEP a cinco, y ser ésta una PEEP cuyo valor es aleatoriamente colocado, progresivamente la zona hemorrágica y colapsada del pulmón vuelve a su situación de colapso previo, perdiéndose progresivamente parte del reclutamiento de la zona contusiva que se había logrado, pero no se colapsa totalmente ya que se vuelve a una PEEP de 5 cm H<sub>2</sub>O.

#### Placa 9 (minuto 10:36)

Ventilación manual con bolsa autoinflable.

Voz: en esta secuencia se muestra la ventilación invasiva realizando insuflaciones manuales con bolsa autoinflable.

Esta bolsa es del tamaño adecuado para el modelo de experimentación, es decir tiene el volumen adecuado para el peso del animal. Cuenta con válvula de PEEP y con un manómetro de seguridad que permite medir la presión que se genera tras insuflar manualmente.

En el presente esquema se muestra el sistema de ventilación utilizado (figura con flechas mostrando los componentes del sistema: válvula de PEEP, manómetro de seguridad con gradación de colores, bolsa autoinflable, bolsa reservorio inflada).

Inicialmente en el sistema se coloca una PEEP de 5 cm H<sub>2</sub>O en la válvula de PEEP. Nótese que el pulmón en el modelo se encuentra insuflado y se mantiene así durante todo el ciclo respiratorio.

Vea como al desconectar la sonda traqueal del ventilador el pulmón se colapsa por pérdida de la PEEP. Al comenzar a ventilar manualmente, el pulmón se reexpande y note como la presencia de la válvula de PEEP impide el colapso del pulmón al finalizar de insuflar durante la espiración. Observe la mano del operador, y considere la fuerza que debe aplicar para lograr una adecuada insuflación del pulmón sin hiperinsuflar. La flecha del manómetro se mantiene en la zona verde de seguridad, registrando la presión que se está generando.

Observe como al generar una fuerza manual excesiva, el pulmón se sobredistiende, generando una presión injuriosa. La flecha alcanza la región amarilla del manómetro.

Al ventilar manualmente sin PEEP el pulmón presenta grandes variaciones del volumen, colapsándose al terminar de insuflar durante la espiración e hiperinsuflando durante la insuflación manual. El colapso pulmonar espiratorio determina la necesidad de generar mayor presión o fuerza para lograr la insuflación. El pulmón pasa cíclicamente del colapso a la sobredistensión total.

#### Placa 10 (minuto 12:49)

Aspiración de sonda endotraqueal con circuito cerrado

En esta secuencia se muestra la ventilación realizando una maniobra de instilación de suero con posterior

aspiración traqueal utilizando un circuito cerrado de aspiración.

En primer lugar se instila suero por el dispositivo sin necesidad de desconectar del ventilador. Tras instilar suero fisiológico, se obtienen las medidas de la monitorización ofrecida por el ventilador que evidencia un aumento de resistencias y una disminución de la compliance como es esperable. La maniobra es bien tolerada.

Al aspirar mediante el circuito cerrado se objetiva que el pulmón igualmente se colapsa al activar la aspiración.

Placa 11 (minuto 13:54)

Aspiración convencional (con desconexión) de sonda endotraqueal

En esta secuencia se registra una maniobra de aspiración desconectando al modelo del ventilador, instilando suero fisiológico por la sonda endotraqueal, y ventilando manualmente con bolsa autoinflable la cual cuenta con válvula de PEEP situada en 5 cm H<sub>2</sub>O.

Nótese que al comenzar la maniobra el pulmón parte de una situación basal con un grado mayor de colapso. En el monitor se evidencia una menor saturación de oxígeno y una mayor frecuencia cardíaca y una presión arterial elevada. Al desconectar la sonda endotraqueal del ventilador, el pulmón se colapsa más aún. Luego, tras ventilar manualmente con un sistema con PEEP, se restablece el volumen del pulmón mejorando la saturación.

Este restablecimiento del volumen pulmonar se vuelve a perder tras desconectar nuevamente para instilar aspirar y, más aún, tras ejercer presión negativa después de aspirar.

Al conectarlo nuevamente al ventilador, a ventilación basal, el pulmón se encuentra mucho más colapsado.

## Discusión

La creación del conocimiento en medicina se debe apoyar en bases teóricas y prácticas. En la formación de los recursos humanos médicos es fundamental la práctica de maniobras y habilidades técnicas básicas a través de una curva de aprendizaje. Esta curva es la traducción del grado de éxito obtenido durante el aprendizaje en un tiempo determinado. La gráfica tiene en el eje horizontal el tiempo transcurrido y en el eje vertical el número de éxitos alcanzados en ese tiempo. Con la disminución de errores, la curva alcanza la llanura y se aplanan<sup>(6)</sup>.

Múltiples estudios en el área quirúrgica y endoscópica han mostrado que el entrenamiento con modelos animales para aplicación de técnicas invasivas, mejora las destrezas de los alumnos. El mismo facilita la aplicación de ciertas técnicas en la práctica clínica mejorando incluso la autoconfianza del alumno<sup>(7,8)</sup>. Otras áreas de la medicina, particularmente la cirugía, han necesitado y utilizado modelos animales para el aprendizaje de los residentes. La curva de

aprendizaje en la endoscopia utilizando modelos animales ha permitido incluso mejorar los resultados de los procedimientos realizados<sup>(7)</sup>. Permiten disminuir los tiempos de los procedimientos, mejorar la precisión de la técnica y disminuyen las complicaciones, lo que también influye en los costos finales de los procedimientos<sup>(7)</sup>. A su vez, para el entrenamiento supone una facilitación en sus habilidades para mejorar en su práctica clínica, incluso mejorando su autoconfianza<sup>(8)</sup>.

Dentro de las destrezas que debe adquirir un médico se incluyen habilidades técnicas y de juicio. Tradicionalmente se lograban mediante el modelo de tutoría en la que el alumno y su mentor generaban una relación bidireccional en la que se iba construyendo la curva de aprendizaje. En el último tiempo, dada la "impaciencia social" secundaria a una mejoría del pronóstico global de las enfermedades, las sociedades toleran menos esta forma de confección de la curva de aprendizaje<sup>(9)</sup>. En particular el intensivista pediátrico debe aprender la realización de diversos procedimientos invasivos como son el manejo de la vía aérea (intubación orotraqueal o traqueostomía), la realización de accesos vasculares profundos (cateterismo umbilical, vías venosas descubiertas o por punción percutánea en territorios venosos profundos), drenaje de cavidades corporales (pleural, abdominal, pericárdica). El correcto y juicioso manejo de la VM es considerada primordial en la era de los cuidados respiratorios protectivos. Para ello, el residente de pediatría intensiva se debe valer de la monitorización de la mecánica respiratoria para adaptar su estrategia ventilatoria a las necesidades del paciente e irlos adaptando tiempo a tiempo. El correcto análisis de la mecánica pulmonar es necesario para mantener la correcta homeostasis y prevenir injurias añadidas en el paciente críticamente enfermo<sup>(2)</sup>.

En este contexto global de aprendizaje, la enseñanza médica del último tiempo se ha valido del surgimiento de nuevas herramientas como los videopodcasts, que lejos de ir en detrimento o reemplazar los métodos tradicionales de enseñanza, pueden tener un rol importante en el reforzamiento del aprendizaje en medicina<sup>(10)</sup>. Son cientos los centros educativos en el exterior que los han incorporado entre su arsenal educativo. También la mayoría de las revistas médicas o *Journals* más leídas del mundo, cuentan entre sus prestaciones en línea a través de la internet (webcasts) diferentes recursos multimedia para sus suscriptores tanto en formato de audio y video (audio y videopodcasts)<sup>(5)</sup>. Hay incluso "videorevistas" (ver [www.jove.com](http://www.jove.com)) indexadas en las principales bibliotecas médicas mundiales que basan su trabajo en la visualización de los experimentos científicos con formato de video. Éstas han facilitado la dispersión de nuevas técnicas de experimentación, entre otros usos.

A su vez, el aumento de la popularidad de las tecnologías basadas en el uso del internet, las redes sociales y re-

cursos multimedia diversos está cambiando la forma en que los estudiantes de las ciencias médicas interactúan con sus profesores, lo que crea nuevos retos y desafíos para el docente<sup>(11)</sup>. Las estrategias como el uso de videos en la red Youtube por ejemplo, podrían facilitar el aprendizaje de los estudiantes de la “generación Youtube”, entre otras razones, al estar fácilmente disponibles<sup>(12)</sup>.

Estos nuevos recursos educativos no hacen más que dar respuesta a las realidades que viven las nuevas generaciones de médicos e intentan integrar las diversas tecnologías disponibles. Una encuesta reciente entre residentes de anestesia canadienses mostró que la mayoría utilizan y prefieren utilizar podcasts en sus diferentes formatos (audio y video) para el aprendizaje<sup>(13)</sup>. En el área de los cuidados críticos, por ejemplo, una revisión realizada en el 2011 mostró que existían más de 135 recursos electrónicos en línea para el aprendizaje de este tipo, lo que demuestra que este tipo de herramientas están siendo integradas activamente en los programas de enseñanza y que sirven como herramientas para educadores, estudiantes y clínicos<sup>(14)</sup>.

El modelo que presentamos pretendió desde el inicio del proyecto englobar lo antes analizado y brindar un recurso multimedia a disposición del estudiante de cuidados intensivos pediátricos (o a cualquier especialista que aplique VM en niños) que complemente sus conocimientos en el área de la VM y los cuidados respiratorios que de ella derivan.

Pudimos diseñar un modelo que muestra directamente los cambios pulmonares frente a distintos cambios de los controles del ventilador. Quedó de manifiesto la importancia de aplicar PEEP durante la VM como estrategia protectora y cómo su inadvertida pérdida frente a maniobras cotidianas de una UCIP—como ser la aspiración de SET— puede generar colapso pulmonar o en el otro extremo sobredistensión pulmonar con niveles excesivos de PEEP, conocidos fenómenos favorecedores de daño inducido por el ventilador (VILI del inglés *Ventilator Induced Lung Injury*)<sup>(15)</sup>. Esta observación por parte del residente en forma directa, le dará una lección añadida a su aprendizaje de lo que se ha dado en llamar “ventilación protectora” que intenta minimizar el daño pulmonar por VM, tras la prevención de VILI en sus diferentes formas: volutrauma (injurias por sobredistensión), atelectrauma (injurias por apertura/cierre repetido de unidades pulmonares) y biotrauma (injurias por mediadores inflamatorios)<sup>(16)</sup>.

Un punto a destacar es que el experimento fue preparado en su integridad por un grupo de posgrados de pediatría intensiva (tutelados por experimentados investigadores en modelos animales del laboratorio donde se llevó a cabo) y las distintas maniobras invasivas efectuadas se pudieron llevar a cabo sin incidentes. Esto supuso para dichos estudiantes un gran aprendizaje *per se* en la etapa de trabajo de campo, así como en las otras fases (comunicación personal de los integrantes del grupo investigador con el autor).

Estos elementos muestran la forma en que modelos animales como el nuestro ayudan en la formación de la curva de aprendizaje de este tipo de habilidades técnicas por parte de los recursos humanos en terapia intensiva. Hay estudios actuales que muestran que los posgrados en las áreas de cuidados críticos de niños están menos expuestos a maniobras como intubación, lo que va en detrimento para su formación<sup>(17)</sup>. Cabe destacar que en países como el nuestro es muy importante aprovechar los escasos recursos con los que se cuentan para mejorar la formación de especialistas que deben aprender la complejidad del cuidado de un paciente crítico de cualquier edad. Las cátedras clínicas nacionales de medicina no suelen contar con áreas de experimentación que permitan llevar adelante proyectos de investigación y de educación. Nuestro trabajo podría ser detonante de futuras intervenciones educativas en el ámbito universitario formal que tengan como centro el uso de modelos animales para la formación de posgrados en estas áreas del conocimiento de nuestro país.

Destacamos que nuestro trabajo cuenta con debilidades que deberán tomarse en cuenta en futuros videopodcasts. Por ejemplo, nuestro modelo utilizó la VM en modo presurométrico únicamente. A pesar de que es uno de los modos convencionales más frecuentemente utilizados en las UCIP<sup>(1)</sup> y que a la fecha no hay estudios sobre cuál es el modo ventilatorio que tenga mejores resultados en niños más allá de la etapa neonatal<sup>(18)</sup>, los diferentes modos tienen propiedades intrínsecas particulares que pueden afectar de forma diversa la mecánica respiratoria del paciente<sup>(19)</sup>. A su vez, al inicio del trabajo de campo al realizar la toracotomía se provocó una contusión pulmonar accidental, lo que imposibilitó observar el tejido pulmonar macroscópicamente sano en su totalidad. Tampoco incluimos en las distintas secuencias el análisis de la gasometría arterial, otro pilar fundamental de la evaluación de cualquier sistema respiratorio en fallo. Aunque el diseño del estudio no pretendía comparar la tolerancia de las diversas estrategias de aspiración de SET, hay que destacar que el nivel de vacío utilizado en ambas secuencias no fue medido, por lo que no podemos hacer más análisis que el desprendido de la observación de los cambios pulmonares durante las mismas. Futuros modelos deberán intentar corregir estas debilidades y seguir avanzando. Nuestro próximo objetivo es ir confeccionando una videoteca y base de datos digitales por el estilo para los estudiantes, y que puedan también abarcar otras áreas formativas en UCIP, como ser modelos de monitorización hemodinámica, neuroinjurias, etc.

Debemos destacar que este trabajo es hasta nuestro conocimiento, el primer videopodcast nacional realizado para el análisis de un modelo animal de VM, cuyo destino final será la educación de los futuros posgrados que requieran dentro de su currícula el estudio de aspectos inherentes a esta terapia. Se lograron registrar se-

cuencias que son reproducibles en la práctica cotidiana de un intensivista y permite reafirmar conceptos importantes de VM protectiva e injuriosa y valorar la utilidad de la PEEP durante VM. También se pudieron reproducir secuencias bastantes habituales en emergencias pediátricas como lo es la ventilación manual u otras maniobras rutinarias como lo es la aspiración de una SET. Creemos que este material es una nueva y valiosa herramienta educativa que permitirá incorporar una nueva óptica al bagaje de conocimientos previos del residente en la materia y servirá para trasladar algunos elementos del modelo animal, en su práctica clínica. A su vez, podrían utilizarse para la divulgación de los experimentos realizados en los laboratorios biomédicos.

## Conclusiones

- Durante la formación académica de los posgrados de UCIP, el aprendizaje de la VM ocupa gran porcentaje de los cursos curriculares obligatorios. La monitorización de la mecánica respiratoria ocupa especial relevancia a la luz de la VM protectiva.
- En el último tiempo han aparecido nuevas herramientas pedagógicas como los podcasts que han sido adoptados por muchos centros educativos del mundo como coadyuvante en la formación de recursos humanos médicos.
- Hemos confeccionado un modelo animal que posibilitó la documentación filmográfica de la VM y que permitirá al posgrado de UCIP cotejar la monitorización de la mecánica respiratoria brindada por un ventilador convencional contemporáneo con los cambios pulmonares en forma directa e “in vivo”.
- Este trabajo quedará disponible en formato de video-podcast para cualquier profesional que aplique VM en niños, lo cual redundará en una facilitación durante la etapa de confección de su curva de aprendizaje en la materia.

## Agradecimientos

A la Lic. Cecilia Fernández, al Aux. José Barreto y a granja “La Familia”.

## Referencias bibliográficas

1. **Farias JA, Fernández A, Monteverde E, Flores JC, Baldano A, Menchaca A, et al; Latin-American Group for Mechanical Ventilation in Children.** Mechanical ventilation in pediatric intensive care units during the season for acute lower respiratory infection: a multicenter study. *Pediatr Crit Care Med* 2012; 13(2):158-64.
2. **Correger E, Murias G, Chacon E, Estruga A, Sales B, Lopez-Aguilar J, et al.** Interpretación de las curvas del respirador en pacientes con insuficiencia respiratoria aguda. *Med Intensiva* 2012; 36(4):294-306.
3. **Hess DR.** Respiratory mechanics in mechanically ventilated patients. *Respir Care* 2014; 59(11):1773-94.
4. **Frerichs I, Dargaville PA, Dudykevych T, Rimensberger PC.** Electrical impedance tomography: a method for monitoring regional lung aeration and tidal volume distribution? *Intensive Care Med* 2003; 29(12):2312-6.
5. **Rainsbury JW, McDonnell SM.** Podcasts: an educational revolution in the making? *J R Soc Med* 2006; 99(9):481-2.
6. **Wikipedia.** Curva de aprendizaje. Disponible en: [http://es.wikipedia.org/wiki/Curva\\_de\\_aprendizaje](http://es.wikipedia.org/wiki/Curva_de_aprendizaje). [Consulta: 21 abril 2014].
7. **Corona R, Verguts J, Binda MM, Molinas CR, Schonman R, Koninckx PR.** The impact of the learning curve on adhesion formation in a laparoscopic mouse model. *Fertil Steril* 2011; 96(1):193-7.
8. **Parra-Blanco A, González N, González R, Ortiz-Fernández-Sordo J, Ordieres C.** Animal models for endoscopic training: do we really need them? *Endoscopy* 2013; 45(6):478-84.
9. **Cohen MS, Jacobs JP, Quintessenza JA, Chai PJ, Lindberg HL, Dickey J, et al.** Mentorship, learning curves, and balance. *Cardiol Young* 2007; 17(Suppl 2):164-74.
10. **Schreiber BE, Fukuta J, Gordon F.** Live lecture versus video podcast in undergraduate medical education: A randomized controlled trial. *BMC Med Educ* 2010; 10:68.
11. **Farnan J, Paro JA, Higa J, Edelson J, Arora VM.** The YouTube generation: implications for medical professionalism. *Perspect Biol Med* 2008; 51(4):517-24.
12. **Clifton A, Mann C.** Can YouTube enhance student nurse learning? *Nurse Educ Today* 2011; 31(4):311-3.
13. **Matava CT, Rosen D, Siu E, Bould DM.** eLearning among Canadian anesthesia residents: a survey of podcast use and content needs. *BMC Med Educ* 2013; 13:59.
14. **Kleinpell R, Ely EW, Williams G, Liolios A, Ward N, Tisherman SA.** Web-based resources for critical care education. *Crit Care Med* 2011; 39(3):541-53.
15. **Slutsky AS, Ranieri VM.** Ventilator-induced lung injury. *N Engl J Med* 2014; 370(10):980.
16. **Kneyber MC, Zhang H, Slutsky AS.** Ventilator-induced lung injury: similarity and differences between children and adults. *Am J Respir Crit Care Med* 2014; 190(3):258-65.
17. **DeMeo SD, Katakam L, Goldberg RN, Tanaka D.** Predicting neonatal intubation competency in trainees. *Pediatrics* 2015; 135(5):e1229-36.
18. **Duyndam A, Ista E, Houmes RJ, van Driel B, Reiss I, Tibboel D.** Invasive ventilation modes in children: a systematic review and meta-analysis. *Crit Care* 2011; 15(1):R24.
19. **Baudin F, Wu HT, Bordessoule A, Beck J, Jouvet P, Frasch MG, et al.** Impact of ventilatory modes on the breathing variability in mechanically ventilated infants. *Front Pediatr* 2014; 2:132.

**Correspondencia:** Dr. Sebastián González.  
Correo electrónico: [sgdambraskas@gmail.com](mailto:sgdambraskas@gmail.com)