

Mechanical Power dinámico en pacientes de la Unidad de Cuidados Intensivos del Hospital de Clínicas

Dynamic Mechanical Power of ICU patients at the Clínicas Hospital

Andrea Freira¹, Mercedes Gallarreta¹, Micaela Gaudio¹, Valentina Isi¹, Agustina Otondo¹, Arturo Briva^{1,2}

RESUMEN

La lesión pulmonar inducida por el ventilador es consecuencia de la interacción del pulmón con las variables ventilatorias mecánicas. Actualmente se intenta unificar la contribución de éstas en un parámetro denominado Mechanical Power. Debido a que el Mechanical Power es dinámico, es necesario conocer su variación en el tiempo y su relación con la condición clínica del paciente para lograr estrategias de ventilación protectora. Se trabajó con 13 pacientes de la Unidad de Cuidados Intensivos del Hospital de Clínicas, realizando el seguimiento continuo de su Mechanical Power por 24 horas. Se analizó la relación entre las variables ventilatorias y variaciones del Mechanical Power, y la permanencia de este último en rangos objetivos según la condición pulmonar de cada paciente. Se observó que el 46% de los pacientes se mantuvo más del 50% del tiempo fuera de su rango objetivo. La variable que más veces se encontraba en aumento cuando el Mechanical Power superó dicho rango fue el volumen tidal, seguida de la frecuencia respiratoria. Se continúa trabajando para entender el comportamiento de estas variables y su influencia sobre el Mechanical Power debiéndose profundizar en el método de recolección de datos y aumentar el tamaño muestral para realizar inferencias poblacionales. A partir de ello se podrá comenzar a ahondar en la relación entre el Mechanical Power y la patología pulmonar. En este estudio se logró reafirmar la utilidad y necesidad de estudiar en profundidad el comportamiento del Mechanical Power y su relación con las variables que lo determinan. Esto es fundamental para lograr su aplicación clínica.

Palabras clave: asistencia ventilatoria mecánica, mechanical power, lesión pulmonar inducida por el ventilador.

ABSTRACT

Ventilator-induced lung injury is produced by the interaction between the lung and mechanical ventilatory variables. The parameter known as Mechanical Power attempts to summarize the effect of these variables. Given that the Mechanical Power is dynamic, it is necessary to know its variation over time in relation to the patients' clinical condition in order to achieve protective ventilation strategies. In this work, the Mechanical Power of 13 patients of the intensive care unit from the Hospital de Clínicas was monitored continuously for 24 hours. The relation of the ventilatory variables to the variations in Mechanical Power was described. Thresholds of Mechanical Power were determined according to the patients' pulmonary condition, and the amount of time spent on each range analyzed. It was shown that 46% of patients spent 50% of the time outside their target range. The variable that was most often increasing when the Mechanical Power crossed the threshold was tidal volume, followed by the respiratory rate. Currently, work is being done to understand these variables' behavior and their influence on Mechanical Power. To do this, the data collection method should be improved and the sample size increased to make population inferences. From this point on, it will be possible to delve into the relation between Mechanical Power and pulmonary disease. This study reaffirmed the usefulness and need of in-depth investigation of the behavior of the Mechanical Power and its connection with the variables that determine it. This is essential to develop its clinical applications.

Keywords: ventilator induced lung injury, mechanical power, mechanical ventilation.

INTRODUCCIÓN

La respiración es el proceso por el cual el oxígeno (O_2) y el dióxido de carbono (CO_2) son transportados hacia y desde la célula en un intercambio continuo con el ambiente⁽¹⁾, y la mecánica ventilatoria estudia el movimiento de los gases entre los alvéolos y la atmósfera mediante el análisis de fuerzas que permiten el movimiento del sistema toracopulmonar⁽²⁾. Las variables implicadas en la dinámica de la ventilación se resumen en la ecuación del movimiento (EM), a partir de la cual se trabaja el concepto del Mechanical Power (MP), tema central del presente artículo.

La respiración espontánea en algunas ocasiones requiere ser apoyada o sustituida por métodos artificiales en pos de cumplir con los requerimientos ventilatorios de cada paciente, constituyendo esto la asistencia ventilatoria mecánica (AVM). Durante un ciclo respiratorio asistido, es el ventilador quien ejerce una presión positiva dentro de la vía aérea. Ésta debe ser suficiente para superar las presiones resistivas y elásticas de la vía aérea, debiéndose ajustar cada ventilador al paciente que recibe AVM.

Los modos ventilatorios hacen referencia a la forma de interacción entre el ventilador y el paciente y pueden ser convencionales, alternativos y especiales. El modo de ventilación elegido para cada paciente se sustenta fundamentalmente en tres pilares: los requerimientos y características del paciente; la experiencia del clínico a cargo; y la disponibilidad del centro en donde será atendido (nivel de especialización de la institución y acceso a los diferentes dispositivos de ventilación).

Los modos convencionales son los más utilizados y los de mayor relevancia para este trabajo. Por ser altamente difundidos se cuenta con muchos datos sobre los beneficios y detrimentos que ejercen sobre el sistema respiratorio, sin embargo, aún no se cuenta con evidencia que muestre una clara superioridad de alguno de ellos sobre los otros.

VILI

La lesión pulmonar inducida por ventilador (VILI por sus siglas en inglés) ocurre como consecuencia de tensiones y deformaciones excesivas aplicadas sobre el tejido pulmonar y tiene la particularidad de que se

¹Estudiante de Medicina, Ciclo de Metodología Científica II, Facultad de Medicina, Universidad de la República, Uruguay. La contribución en la realización del trabajo fue equivalente a la de los demás estudiantes.

²Prof. Agregado de la Cátedra de Medicina Intensiva del Hospital de Clínicas, Facultad de Medicina, Universidad de la República, Uruguay.

³Tutor a cargo del grupo de investigación. Contacto: Arturo Briva. Email: abriva@hc.edu.uy

trata de una patología originada únicamente a partir de la intervención médica sobre el aparato respiratorio⁽³⁾.

Desde la introducción de la AVM se han intentado describir los mecanismos etiopatogénicos implicados en el desarrollo de VILI para lograr estrategias de ventilación protectivas orientadas a prevenir el volutrauma, barotrauma, atelectrauma y biotrauma. Además de las variables ventilatorias ya mencionadas, se han descrito otros cofactores que intervienen en la generación de VILI como la FR⁽⁴⁾, flujo y temperatura⁽⁵⁾.

MECHANICAL POWER

En la actualidad se intenta unificar la contribución de las distintas variables de la AVM en un solo parámetro denominado mechanical power (MP). Éste se define como la energía transferida desde el ventilador a las vías aéreas del paciente por unidad de tiempo, expresado en Joules por minuto (J/min), y explicaría el riesgo de desarrollo de VILI. Si se pudiera establecer un valor límite por sobre el cual se asegure un aumento significativo del riesgo de desarrollo de VILI, el MP podría ser utilizado como elemento guía de ventilación protectora en la práctica clínica⁽⁶⁾.

La evidencia acumulada hasta el momento apunta a que las variables presión, flujo y volumen tienen similar injerencia sobre el MP, mientras que los cambios en la frecuencia respiratoria y la PEEP tienen una intervención menos marcada⁽⁶⁾.

Existen múltiples maneras de calcular el MP, algunas de ellas utilizan modelos dinámicos mientras que otras utilizan modelos estáticos o de potencial. No es utilizado ampliamente en la práctica clínica debido a la dificultad técnica que enmarca su cálculo⁽⁷⁾. La siguiente es la ecuación propuesta por Gattinoni, et al.⁽³⁾.

$$MP = 0,098 \times RR \times \left\{ AV \times AV^2 \times \left[\left(0,5 \times ERS + RR \times \frac{1 + I:E}{60} \times I:E \times R_{aw} \right) + AV \times PEEP \right] \right\}$$

En el presente trabajo se realiza una investigación que se enmarca en la corriente de investigación que se enfoca en el MP para la prevención y predicción de la VILI.

JUSTIFICACIÓN

En la actualidad persisten diversas incógnitas en torno al MP. Las mismas incluyen su normalización a la situación clínica de cada paciente⁽⁸⁾ así como poder determinar un valor umbral de MP para el desarrollo de VILI⁽⁷⁾. También se continúa investigando sobre el peso relativo de cada variable en el desarrollo de VILI y la mortalidad que ésta genera⁽⁶⁾.

Considerando que el MP es dinámico y que la VILI

es un fenómeno tiempo dependiente⁽⁹⁾, estudiar la variación del MP durante la AVM es aproximarse a la posibilidad de su aplicación clínica en un seguimiento instantáneo. En este sentido, analizar la relación entre los cambios de las variables ventilatorias y los cambios del MP podría permitir su ajuste a favor de reducir el trabajo recibido por los tejidos.

Se ha demostrado que la permanencia en determinados rangos se asocia a un aumento en la mortalidad en Unidad de Cuidados Intensivos (UCI) y cantidad de días en AVM. Es así que realizar la descripción del tiempo de permanencia por fuera de dichos límites conforma una primera aproximación a la calidad de la AVM realizada en la población de estudio.

Finalmente, el presente trabajo constituirá un aporte significativo a la temática en nuestro país, ya que hasta la fecha no se cuenta con estudios publicados acerca del MP. A su vez, pretende ser el primer eslabón de próximas investigaciones a realizarse por la Cátedra de Cuidados Intensivos del Hospital de Clínicas.

OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Objetivo general

Realizar el seguimiento continuo del MP a lo largo de 24 horas en pacientes internados en la UCI del Hospital de Clínicas.

Objetivos específicos

1. Comparar el valor promedio del MP en la primera hora con el promedio de MP en 24 horas.
2. Describir cambios en el MP en relación a modificaciones en las variables respiratorias de los pacientes.
3. Describir el tiempo de permanencia en distintos rangos de MP para cada paciente.
4. Consolidar una línea de trabajo orientada a definir el comportamiento de las variables en la AVM para su aplicación en la ventilación protectora.

METODOLOGÍA

DISEÑO DE ESTUDIO

El estudio es observacional descriptivo y retrospectivo. Este diseño es el que más se ajusta a los objetivos de la investigación y además, la pandemia por SARS-CoV2 no permitió realizar intervenciones experimentales en las salas de internación. El carácter retrospectivo se sustenta en la imposibilidad de obtener nuevos datos debido a la pandemia, derivando en la utilización de una muestra obtenida previamente.

ALCANCES Y LIMITACIONES

El estudio cuenta con algunas limitaciones, como el número reducido de pacientes con el que se trabajará, que surge de la situación sanitaria actual y del laborioso método de recolección de datos.

Los datos obtenidos podrán compararse mediante test estadísticos solamente con los valores obtenidos del mismo individuo, no así entre ellos. Esta limitación surge no solamente del diseño de estudio, sino también de las características de la variable estudiada. A su vez, la investigación se limita a la observación de los cambios del MP en relación a modificaciones en las variables ventilatorias, no permitiendo obtener conclusiones sobre los cambios asociados a la patología del paciente. De todas formas, si se intentará definir el comportamiento de ciertas variables involucradas en el MP.

DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN DE ESTUDIO

La población de este estudio serán pacientes en AVM. La muestra consta de 13 pacientes en AVM de la UCI del Hospital de Clínicas en el periodo comprendido entre el 1 de junio del 2019 y 30 de diciembre del 2019.

El tamaño de la muestra está regido por necesidad dada la situación sanitaria del corriente año y la dificultad que ésta determinó en la recolección de datos.

Se definirán diferentes grupos de pacientes según los hallazgos en la radiografía de tórax. De esta forma quedarán conformados 3 grupos:

1. Pacientes sin patología pulmonar
2. Pacientes con patología pulmonar simétrica
3. Pacientes con patología pulmonar asimétrica

CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN

Criterios de inclusión

1. Pacientes hospitalizados en UCI del Hospital de Clínicas
2. Mayores de 18 años
3. Requerimiento de al menos 24 horas de AVM
4. Pacientes en las primeras 72 horas de su ingreso a la UCI

Criterios de exclusión

1. Pacientes recibiendo AVM por menos de 6 horas
2. Pacientes recibiendo AVM a través de traqueostomía o intubación nasotraqueal
3. No autorización por parte del familiar o tutor
4. Contraindicaciones para el ingreso del equipo a realizar la filmación

DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES

Las variables a relevar serán: presiones, volúmenes, flujo suministrado, FR y relación inspiración: espiración

(I: E). Las presiones consideradas serán: presión meseta, PEEP y driving pressure. Dichas variables serán obtenidas a partir del video registro de los monitores de AVM y son todas variables cuantitativas continuas. A su vez, se realizará el cálculo de MP, variable central del estudio.

Otro dato que será considerado es la radiografía de tórax de cada paciente tomada al ingreso a UCI, a partir de la cual se definirán tres categorías de la variable cualitativa patología pulmonar: sin patología pulmonar, con patología simétrica, con patología asimétrica.

TÉCNICAS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

Los registros de los monitores fueron obtenidos a partir de la filmación de los mismos y las variables recogidas en una tabla de datos Excel. El cálculo del MP se realizó cada 15 minutos utilizando las variables presión, VT, FR, PEEP y relación I: E.

El trabajo fue compartimentalizado de forma que se garantiza que las personas encargadas de grabar los monitores fueron distintas que las que analizarán los videos.

NORMAS ÉTICAS

La investigación fue aprobada según la normativa vigente por el Comité de Ética de la Investigación del Hospital de Clínicas y por la Comisión Nacional de Ética de la Investigación.

Dada la situación clínica de los pacientes participantes, los familiares o tutores de los mismos fueron informados sobre la finalidad de la investigación. Quienes estuvieron de acuerdo en participar firmaron un consentimiento informado por escrito.

Las identidades de los participantes fueron anonimizadas de forma reversible asignándoles un número identificador a cada uno. Los datos personales fueron protegidos cumpliendo con la legislación actual⁽¹⁰⁾.

ANÁLISIS DE DATOS

Los datos recogidos fueron ingresados en planillas de datos Excel y Prisma GraphPad, con los que se obtuvieron medias y desvíos estándar de las variables ventilatorias, MP en las 24 horas (MP_{24h}), y MP en la primera hora (MP_{1h}) de cada paciente. En el análisis cuantitativo de los datos se compararon estadísticamente las medias de los MP_{1h} y MP_{24h} mediante Test de Student para muestras independientes⁽¹¹⁾. A continuación, se utilizó nuevamente Prisma GraphPad para obtener los coeficientes de variación del MP de cada paciente y valorar así el comportamiento del MP a lo largo de las 24 horas.

Los datos obtenidos fueron organizados en grupos a partir de las radiografías de tórax, las cuales se analizaron cualitativamente a través de un score radiográfico utilizado en pacientes críticos⁽¹²⁾. A través de este análisis se definieron 3 grupos de pacientes: sin patología pulmonar, con patología asimétrica y patología simétrica.

Se establecieron rangos objetivos de MP para cada grupo definido con el fin realizar su análisis cuantitativo: <17 J/min en el grupo de pacientes sin patología pulmonar y <12 J/min en pacientes con patología pulmonar simétrica o asimétrica. Para seleccionar estos puntos de corte se utilizaron resultados de estudios previos que demostraron que aquellos pacientes con un MP ≤ 12 J/min en sus primeras 24hs de AVM presentan una mejor sobrevivencia⁽⁶⁾. Por otra parte, también se demostró que un valor de MP >17 J/min se relaciona con un aumento de la mortalidad en la UCI⁽⁶⁾. La diferencia en los puntos de corte utilizados para los distintos grupos se sustenta en que, si bien todos los pacientes deben ser protegidos de la VILI, la distribución del trabajo mecánico difiere según las condiciones clínicas del paciente⁽¹²⁾. De esta manera se permitió para todos los pacientes un valor máximo de 17 J/min, dado que a partir de allí aumenta significativamente la mortalidad⁽⁶⁾. Para los pacientes con patología pulmonar asimétrica se consideraron óptimos valores por debajo de 12 J/min ya que la carga mecánica ejercida se distribuye de manera desigual y no se puede conocer con exactitud. Lo mismo se aplicó para pacientes con patología pulmonar simétrica debido a que, al ser pulmones dañados, se busca que reciban menor estrés mecánico.

Una vez definidos los grupos y sus respectivos rangos objetivos de MP, se utilizó el lenguaje de programación Python para determinar tres segmentos en el MP de cada paciente, según éste fuera ≤ 12 J/min, entre 13 J/min y 17 J/min y >17 J/min. Los resultados de cada segmento fueron obtenidos en porcentaje de tiempo.

Se analizó el porcentaje del tiempo que los pacientes permanecían por encima de rangos de MP objetivos. Por otro lado, se analizaron las variables ventilatorias que determinaron el MP en cada rango por medio del coeficiente de correlación y aumentos en dichos rangos.

RESULTADOS

SEGUIMIENTO DEL MP EN LAS 24HS

Se analizaron 312 horas de ventilación mecánica correspondientes al registro de 24 horas de los 13 pacientes estudiados. Se registraron los valores de MP cada 15 minutos obteniéndose un total de 96 valores para cada paciente durante las 24 horas de registro.

Los pacientes 1, 2, 9, 12 y 15 tuvieron menor cantidad de mediciones por fallas en la toma del registro. Los datos se presentan graficados en función del tiempo (**Figura 1; Anexo**).

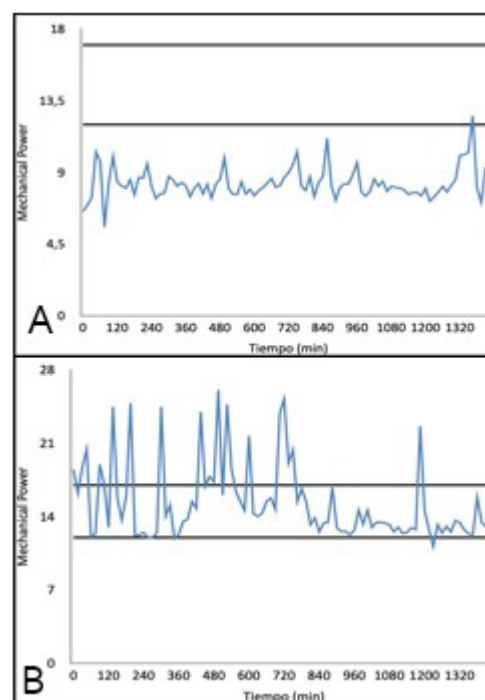


Figura 1. Gráficas de MP función del tiempo para cada paciente por 24 horas. Se puede apreciar la gran disparidad en el trabajo mecánico recibido por cada uno durante su AVM. **A.** paciente 6. **B.** paciente 8.

Fuente: elaboración propia.

Se calculó el promedio del MP_{1h} y del MP_{24h} y se compararon mediante un test de Student para muestras independientes; la diferencia no fue significativa en la mayoría de los pacientes ($\approx 5\%$). Para completar el análisis se calculó el coeficiente de variación del MP_{24h} que refleja el grado de heterogeneidad del MP a lo largo del registro. Estos datos se presentan en la **Tabla 1**.

Tabla 1.

Paciente	MP _{1h} (J/min) $\pm$ DE	MP _{24h} (J/min) $\pm$ DE	Valor P	Coef. Variación (%)
1	9,81 $\pm$ 0,39	8,44 $\pm$ 1,07	0,004	12,72
2	11,77 $\pm$ 1,62	12,34 $\pm$ 1,59	0,4	12,84
3	16,97 $\pm$ 0,53	18,17 $\pm$ 3,62	0,4	19,91
4	8,05 $\pm$ 0,47	7,51 $\pm$ 1,50	0,4	19,95
6	8,18 $\pm$ 1,69	8,31 $\pm$ 0,96	0,7	11,53
7	9,46 $\pm$ 1,20	9,51 $\pm$ 1,93	0,9	20,28
8	17,15 $\pm$ 3,25	15,29 $\pm$ 3,67	0,2	24,06
9	8,96 $\pm$ 0,51	7,92 $\pm$ 1,81	0,19	22,70
11	12,52 $\pm$ 2,07	24,1 $\pm$ 5,11	2,9	21,10
12	8,69 $\pm$ 0,28	8,05 $\pm$ 1,20	0,2	14,92
13	14,77 $\pm$ 3,68	15,03 $\pm$ 2,84	0,8	18,99
14	19,08 $\pm$ 0,05	19,29 $\pm$ 2,83	0,87	14,56
15	7,08 $\pm$ 1,01	11,99 $\pm$ 3,53	0,6	41,90

Fuente: elaboración propia.

VERIFICACIÓN DE LA CORRELACIÓN ENTRE LAS VARIABLES VENTILATORIAS Y EL MP

Se determinaron los coeficientes de correlación entre el MP y las variables FR, VT y PEEP para cada uno de los pacientes. En todos los casos se obtuvieron coeficientes altos, entre 0,68 y 0,97. **Tabla 2.**

RELACIÓN ENTRE MP Y VARIABLES

Fueron graficados los datos normalizados de MP y de las tres variables mencionadas para cada paciente. En la **Figura 2** se puede ver un ejemplo de estas gráficas unificadas (ver anexo para el resto de las gráficas).

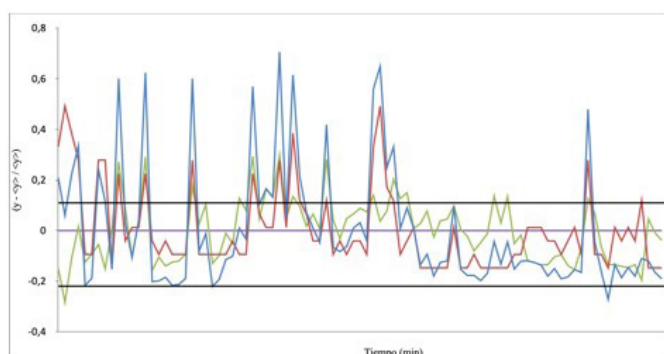


Figura 2. Variable normalizada, $(y - \langle y \rangle) / \langle y \rangle$, donde "y" representa cada variable e " $\langle y \rangle$ " su promedio, MP (azul), VT (verde), FR (rojo) y PEEP (violeta) en función de tiempo. Se puede ver como los cambios en las variables ventilatorias acompañan los cambios en el MP. Se muestran los valores límite normalizados 17 J/min y 12 J/min de MP; líneas negras superior e inferior respectivamente. Paciente 8.

Fuente: elaboración propia.

A su vez, se calculó el coeficiente de correlación para las variaciones de MP (ΔMP) con las variaciones de cada variable (ΔFR , ΔVT y $\Delta PEEP$) y se calculó el porcentaje de veces en el que cada variable se encontraba en ascenso cuando el MP aumentó por encima de 17 J/min. En cuanto a los aumentos de MP por encima del límite establecido de 17 J/min, se observó que en la mayoría de los pacientes (cuatro de los siete en los que se superó el umbral) la variable que más veces se encontraba en aumento junto al MP fue el VT. En segundo lugar se ubicó la FR con el mayor porcentaje en 2 pacientes. En el caso del paciente 11 se dio que el 100% de las veces estuvieron en aumento tanto el VT como la FR. Por su parte, la PEEP no fue primera en ningún caso, habiendo mostrado aumentos a la vez que se superó el límite de MP solo en dos pacientes. Se realizó el mismo cálculo para los pacientes que tuvieron como límite objetivo un MP de 12 J/min.

En estos casos, también fue predominante el aumento del VT, el cual fue la variable con mayor porcentaje en cuatro pacientes. Para el paciente 3, el cual estuvo siempre por encima de 12 J/min, se calculó el porcentaje de veces que aumentó cada variable junto al MP cuando éste se encontraba entre 12 y 17 J/min. El paciente 14 también se mantuvo con un MP mayor a

12 J/min, pero en ese caso no se registraron aumentos entre 12 y 17 J/min. Por lo tanto, se consideró el análisis ya realizado para el umbral de 17 J/min. **Tabla 2.**

Tabla 2. Coeficiente de correlación (CC). Las primeras tres columnas muestran el coeficiente de correlación entre el MP y las tres variables FR, PEEP y VT. En las siguientes tres columnas se ve el CC entre la variación de MP y la variación de cada variable (ΔMP , ΔFR , ΔVT , $\Delta PEEP$). Las últimas seis filas muestran, en porcentaje, las veces que aumentaron las variables cuando MP superó 17 y 12 J/min. Los casos en los que no se superó el umbral, ya sea porque el MP siempre fue superior o porque nunca lo alcanzó, se designaron con un guion (-).

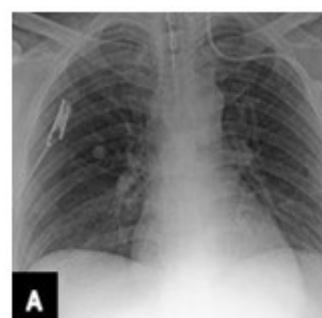
	CC MP- FR	CC MP- VT	CC MP- PEEP	CC ΔMP - ΔFR	CC ΔMP - ΔVT	CC ΔMP - $\Delta PEEP$	FR % >17	VT % >17	PEEP % >17	FR % >12	VT % >12	PEEP % >12
1	0,887	0,938	0,885	0,440	0,656	0,421	-	-	-	-	-	-
2	0,894	0,922	0,884	0,729	0,857	0,390	-	-	-	52,38	90,5	4,76
3	0,921	0,861	0,873	0,426	0,747	0,586	42,8	71,4	0	-	-	-
4	0,909	0,891	0,779	0,590	0,753	0,433	-	-	-	-	-	-
6	0,931	0,971	0,927	0,724	0,883	0,573	-	-	-	100	100	0
7	0,756	0,768	0,834	0,547	0,156	0,038	100	0	0	100	66,7	0
8	0,935	0,895	0,802	0,863	0,753	0,289	81,8	100	0	25	75	0
9	0,704	0,879	0,846	0,147	0,866	0,515	-	-	-	-	-	-
11	0,895	0,948	0,818	0,818	0,832	0,723	100	100	0	100	100	0
12	0,811	0,927	0,909	-0,120	0,765	0,439	-	-	-	0	100	0
13	0,688	0,762	0,852	0,201	0,813	0,682	28,57	100	0	25	100	0
14	0,946	0,929	0,913	0,761	0,857	0,369	66,67	88,9	11,11	-	-	-
15	0,042	0,996	0,191	-0,089	0,996	0,030	100	50	50	85,71	85,7	42,86

Fuente: elaboración propia.

MP OBJETIVO SEGÚN CATEGORÍA CLÍNICA

Se realizó la clasificación de los pacientes en 3 grupos según las radiografías de tórax (simétrica, asimétrica, normal). Figura 3. Se calculó el porcentaje del tiempo que cada paciente estuvo ventilado con valores de MP ≤ 12 J/min; ≥ 13 - ≤ 17 J/min; > 17 J/min. En el grupo de pacientes con patología simétrica el 37,5% estuvo ventilado más del 50% del tiempo fuera del rango objetivo.

En el total de las observaciones el 46% se mantuvo más del 50% del tiempo fuera del rango objetivo. **Tabla 3.**



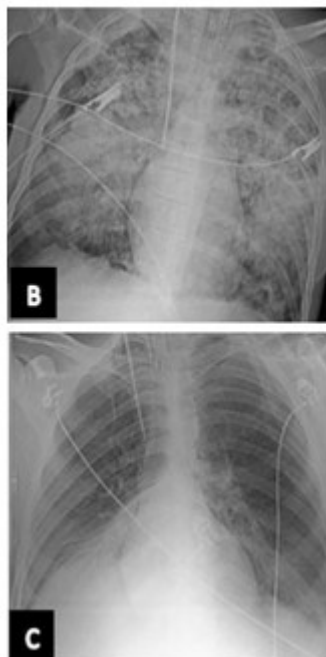


Figura 3. Radiografía de tórax representativas de los grupos con radiología: **A.** normal; **B.** bilateral; **C.** asimétrica

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3.

Paciente	Patología pulmonar	Tiempo (%) $\leq 12(\text{J/min})$	Tiempo (%) 13-17(J/min)	Tiempo (%) $> 17(\text{J/min})$	Tiempo (%) en objetivo
1	Simétrica	100	0	0	100
2	Simétrica	43,8	56,2	0	43,8%
3	Simétrica	0	64,6	35,4	0
4	Simétrica	100	0	0	100
6	Normal	99	1	0	99
7	Simétrica	95,8	3,1	1	95,8
8	Asimétrica	4,2	75	20,8	79,2
9	Simétrica	100	0	0	100
11	Asimétrica	6,2	3,1	90,6	9,3
12	Asimétrica	96,9	3,1	0	100
13	Simétrica	8,3	72,9	18,8	8,3
14	Normal	0	12,5	87,5	12,5
15	Simétrica	90,6	5,2	4,2	95,8

Fuente: elaboración propia.

DISCUSIÓN

Se logró una mejoría sustancial en el método de recolección y procesamiento de datos de las variables ventilatorias respecto a lo realizado en estudios anteriores en nuestro medio (13). Además, se obtuvieron por primera vez curvas dinámicas de MP en 24 horas de registro analizadas.

Como primera aproximación, el contraste realizado entre el promedio de MP1h con el del MP24h, arrojó que sólo en un 7% (1 paciente) existía una diferencia significativa. No obstante, los coeficientes de variación

del MP24h se encontraban en el rango 12,72%-41,90%, demostrando su naturaleza dinámica y la importancia de realizar un seguimiento continuo del MP para estimar certeramente la probabilidad de desarrollo de VILI.

Adicionalmente, se comenzó a avanzar en la determinación de las variables que participan en modificar el MP. Se estudió la correlación entre FR, VT y PEEP con el MP, obteniéndose coeficientes de correlación altos para las tres variables, siendo coherente con el modelo planteado por Gattinoni et al. (3).

A partir del análisis de las gráficas normalizadas de MP, FR, VT y PEEP y de los coeficientes de correlación entre las variables, se evidenciaron sinergias y balances entre las mismas. Este es el caso de los pacientes 2 y 8, en los cuales se observó una variación sinérgica de las tres variables, especialmente la FR y PEEP, con el MP. Esto también se corroboró con los coeficientes de correlación para las variables entre sí, los cuales en la gran mayoría de los casos fueron elevados (ver anexo). Por otro lado, en los pacientes 12 y 13 se observaron balances entre VT y FR (ver anexo).

Los resultados arrojados muestran un predominio de aumento de VT y FR al cruzar el umbral de MP, lo cual coincide con lo reportado por otros autores (14, 11). De todas maneras, debe tenerse en cuenta que la PEEP presenta limitantes para su interpretación en este análisis. Por un lado, es la variable con menor variación, siendo constante tras su ajuste inicial en el ventilador. Por otro lado, es totalmente dependiente del ventilador, no siendo afectada por el esfuerzo ventilatorio o la situación clínica del paciente. Además, este estudio se restringió al análisis de la correlación entre los aumentos del MP y los aumentos en la PEEP. Es así que no se tuvo en cuenta la relación entre el decremento de la PEEP y aumento del MP, ni del aumento de la PEEP y la disminución del MP. Este último aspecto podría ser objeto de próximas investigaciones, dada la estrecha relación entre la curva presión-volumen pulmonar y el efecto de la PEEP sobre el trabajo mecánico (15, 9).

En cuanto al análisis por grupos de patología pulmonar se observó que el 46% se mantuvo más del 50% del tiempo fuera del rango objetivo. Si bien esto configura una primera aproximación a la calidad de la AVM brindada, cabe destacar ciertas limitaciones para su interpretación. En primer lugar, fueron utilizados como referencia estudios que determinaron objetivos de MP para grupos específicos y se aplicaron en grupos heterogéneos de pacientes. A su vez, en este estudio se trabajó con un tamaño muestral reducido que impide hacer inferencias sobre la población. El MP es altamente dependiente de los esfuerzos ventilatorios del paciente y de consideraciones clínicas que exceden los propósitos de esta investigación.

Si bien los datos obtenidos constituyen un avance sobre el estudio del MP dinámico en nuestro país, se contó con numerosas restricciones derivadas de la situación epidemiológica actual. Únicamente se logró el acceso al video registro e historia clínica de cada paciente, no pudiendo establecer contacto directo con los mismos a fin de definir su situación clínica con mayor precisión. Por esta razón, tampoco se pudo indagar si corrigiendo alguna de las variables analizadas se lograba llevar el MP al rango objetivo.

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

El presente estudio partió del análisis de una ecuación compleja con múltiples componentes y logró obtener datos dinámicos precisos en un grupo heterogéneo de pacientes ventilados. Se reafirmó la necesidad de estudiar en profundidad el comportamiento del MP y la relación entre las variables que lo determinan; fundamental para lograr su aplicación clínica en vistas a establecer estrategias de ventilación protectora.

Debe trabajarse en el perfeccionamiento de los métodos de registro y agilizar así la obtención de variables. Realizar un seguimiento continuo del MP parece ser fundamental, dada la gran variabilidad que éste tuvo a lo largo del registro. Los resultados sobre la relación entre las distintas variables apoyan los obtenidos en otras investigaciones.

Se avanzó en el análisis del MP en pacientes críticos. Se propone aumentar el tamaño muestral en subsiguientes investigaciones para poder realizar inferencias sobre la población estudiada. Es de interés intentar introducir cambios en las variables ventilatorias a fin de generar modificaciones protectoras en la AVM, y se incita para ello a consolidar una línea de trabajo de estudio sobre el MP dinámico.

Agradecimientos:

A los pacientes y sus familiares por permitirnos integrarlos en la realización de este estudio; también a los integrantes de la Cátedra de Medicina Intensiva del Hospital de Clínicas; al Dr. Maximiliano Isi, PhD por su apoyo en los aspectos de programación; a nuestro orientador, el Dr. Arturo Briva por su guía y dedicación.

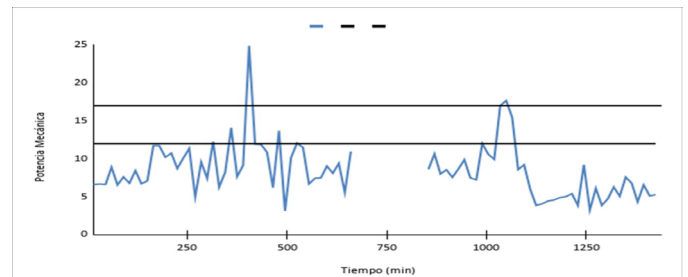
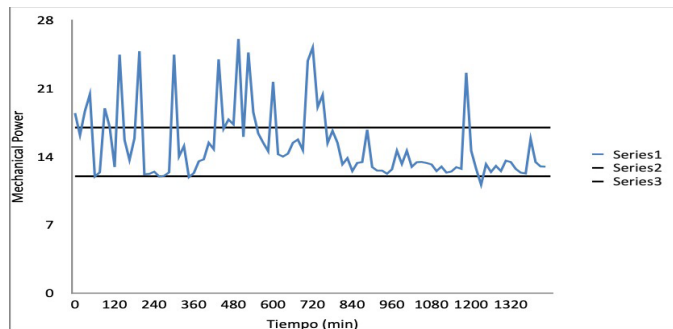
REFERENCIAS

1. **Cingolini H, Houssay A.** Fisiología Humana de Houssay. 7° edición. Buenos Aires; Ateneo; 2000. p. 389–405.
2. **West J, Colaboradores.** Best y Tailor Bases Fisiológicas de la Práctica Médica. 12° edición. Buenos Aires: Panamericana; 1995. p. 677–98.
3. **Gattinoni L, Tonetti T, Cressoni M, Cadringer P, Herrmann P, Moerer O, et al.** Ventilator-related causes of lung injury: the mechanical power. *Intensive Care Medicine*. 2016 Oct 1;42(10):1567–75.
4. **Gattinoni L, Marini JJ, Collino F, Maiolo G, Rapetti F, Tonetti T, et al.** The future of mechanical ventilation: Lessons from the present and the past. Vol. 21, *Critical Care*. BioMed Central Ltd.; 2017.
5. **Cressoni M, Gotti M, Chiurazzi C, Massari D, Algieri I, Amini M, et al.** Mechanical power and development of ventilator-induced lung injury. *Anesthesiology*. 2016 May 1;124(5):1100–8.
6. **Serpa Neto A, Deliberato RO, Johnson AEW, Bos LD, Amorim P, Pereira SM, et al.** Mechanical power of ventilation is associated with mortality in critically ill patients: an analysis of patients in two observational cohorts. *Intensive Care Medicine*. 2018 Nov 1;44(11):1914–22.
7. **Silva PL, Ball L, Rocco PRM, Pelosi P.** Power to mechanical power to minimize ventilator-induced lung injury? *Intensive Care Medicine Experimental*. 2019 Jul;7(S1).
8. **Giosa L, Busana M, Pasticci I, Bonifazi M, Macri MM, Romitti F, et al.** Mechanical power at a glance: a simple surrogate for volume-controlled ventilation. *Intensive Care Medicine Experimental*. 2019;7(1).
9. **Modesto i Alapont V, Aguar Carrascosa M, Medina Villanueva A.** Clinical implications of the rheological theory in the prevention of ventilator-induced lung injury. Is mechanical power the solution? *Medicina Intensiva*. 2019 Aug 1;43(6):373–81.
10. **Ley de protección de datos personales** [Internet]. Uruguay; 2008. Available from: <https://www.imp.com.uy/bases/leyes/18331-2008>
11. **Aguizarrezabal X, Rafael A, Cáceres R, Gil J, Gómez J, Gotta I, et al.** Estadística Médica. 1a ed. Montevideo: Oficina del Libro; 2004. p. 229–38.
12. **Mason SE, Dieffenbach PB, Englert JA, Rogers AA, Massaro AF, Fredenburgh LE, et al.** Semi-quantitative visual assessment of chest radiography is associated with clinical outcomes in critically ill patients. *Respiratory Research*. 2019 Oct 12;20(1):218.
13. **García M, Garguiullo D, Gutiérrez R, Magnoni M, Rodríguez F, Umpierrez A.** Monitorización de la Asistencia Ventilatoria Mecánica en pacientes ventilados en el Centro de Tratamiento Intensivo del piso 14 del Hospital de Clínicas durante Junio-Agosto de 2018. 2018.
14. **Gómez RJ, Monares ZE, González CBG, et al.** Determinación del poder mecánico en pacientes en ventilación mecánica invasiva en modalidad espontánea. *Med Crit*. 2018;32(1):20–26.
15. **Miller R, Eriksson L, Fleisher L, Werner-Kronish J, Cohen N. Miller.** Anestesia. 8th ed. Barcelona: Elsevier; 2015. p. 444–71.

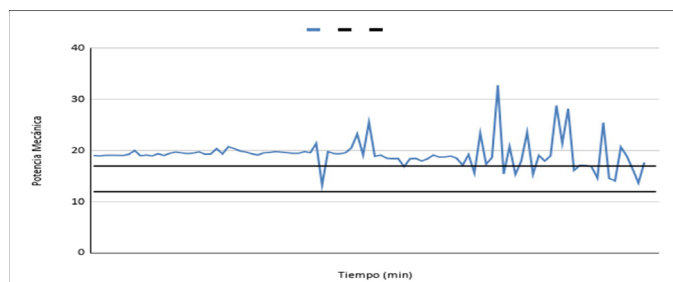
ANEXOS

Anexo I. Gráficos del Mechanical Power en 24hs para cada paciente

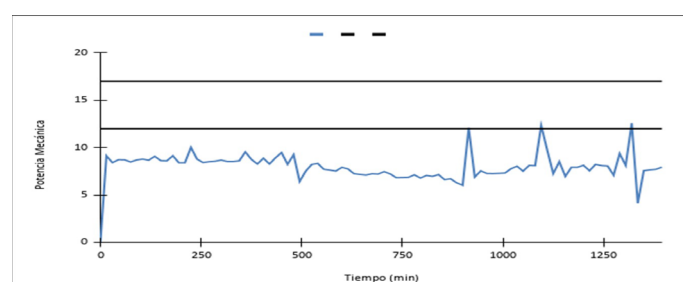
Se tomó la ecuación de MP presentada en el texto y se calculó a lo largo de todo el registro de datos. Los puntos de corte para determinar una zona de comportamiento ideal se determinó a partir de las referencias bibliográficas citadas también en el texto.



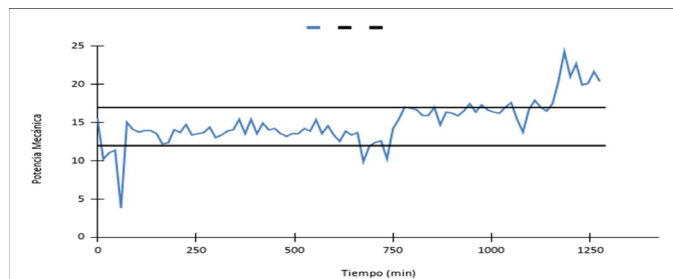
Paciente 15. Nótese que en el intervalo de 660 minutos a 855 minutos, no existe registro.



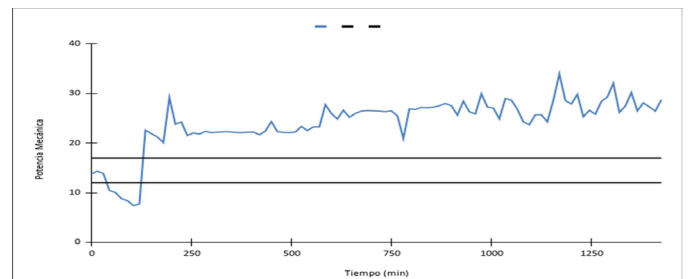
Paciente 14.



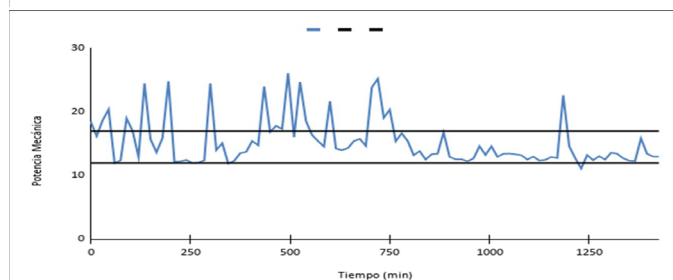
Paciente 12.



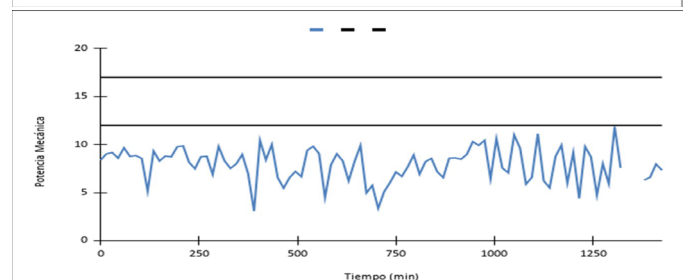
Paciente 13.



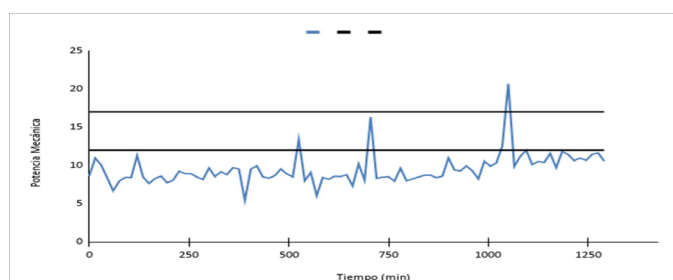
Paciente 11.



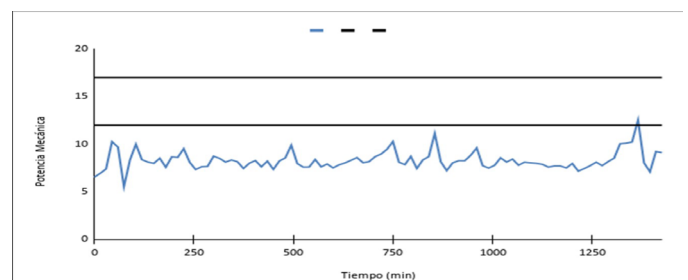
Paciente 8.



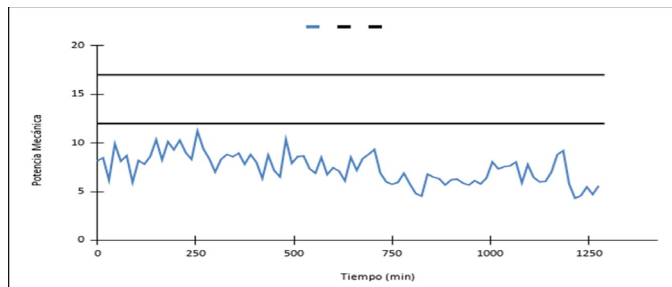
Paciente 9. Nótese que en el intervalo de 1335 minutos a 1365 minutos, no existe registro.



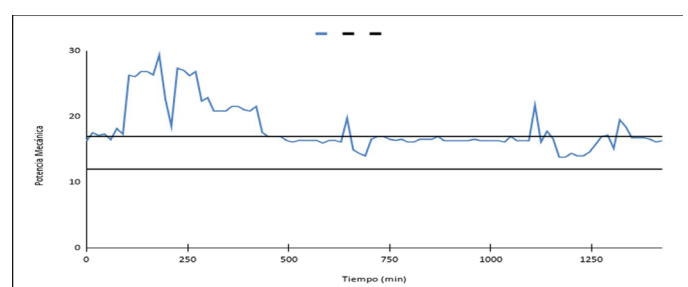
Paciente 7.



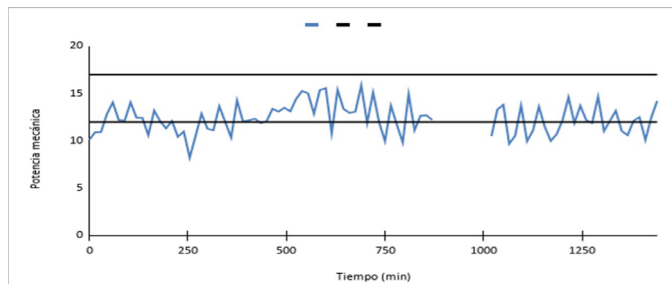
Paciente 6.



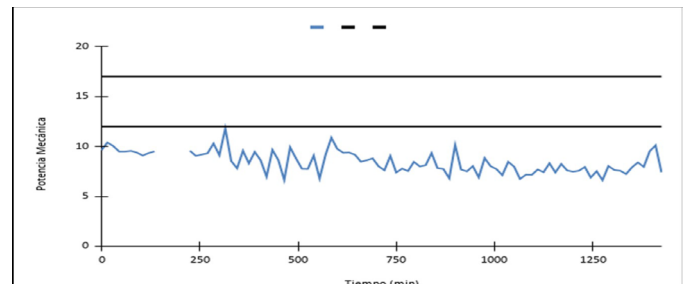
Paciente 4.



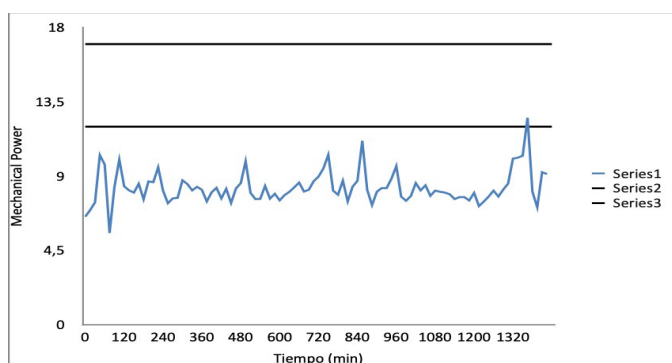
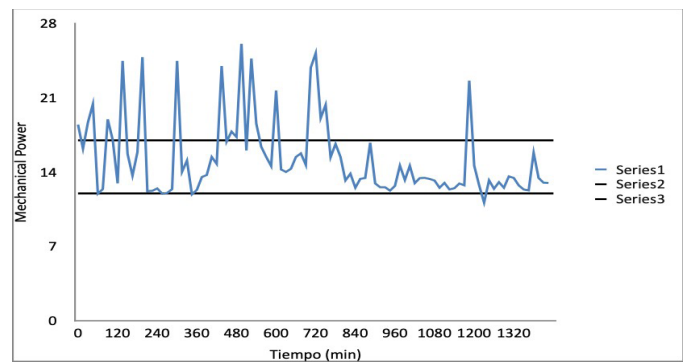
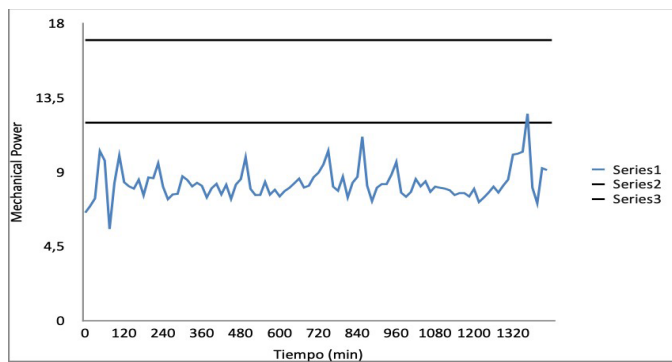
Paciente 3.



Paciente 2. Nótese que en el intervalo de 885 minutos a 1005 minutos, no existe registro.

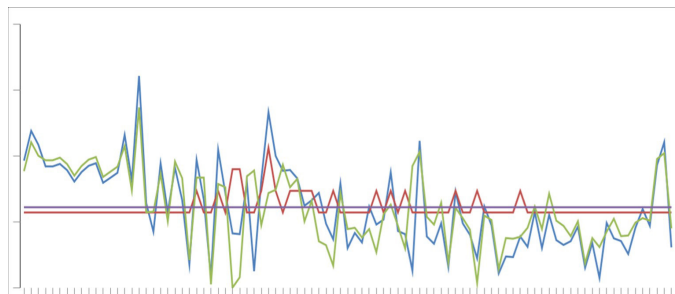


Paciente 1. Nótese que en el intervalo de 150 minutos a 210 minutos, no existe registro.

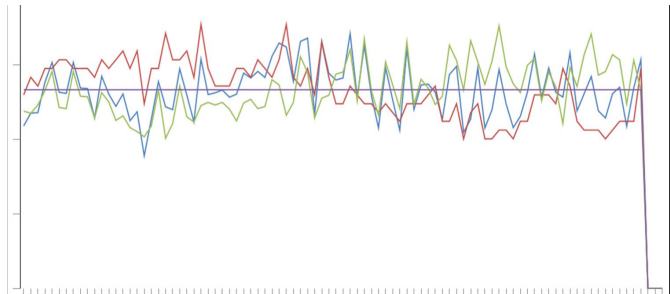


Anexo II. Gráficos del Mechanical Power en 24hs - Valores Normalizados

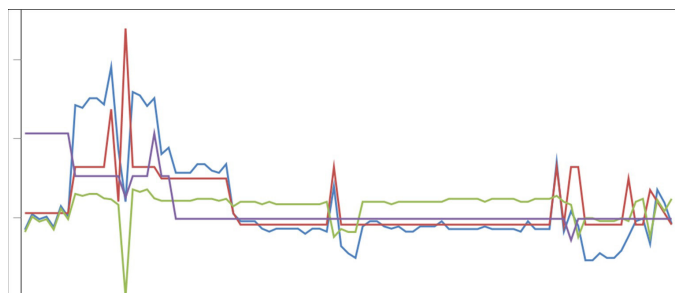
A partir de las variables registradas y las calculadas se establecieron en formato "normalizado". Esto consistió en representar las variables como variaciones a partir del punto inicial (tomado como cero) y así intentar valorar cuanto peso tiene algunos de los componentes de la ecuación de MP en el valor final.



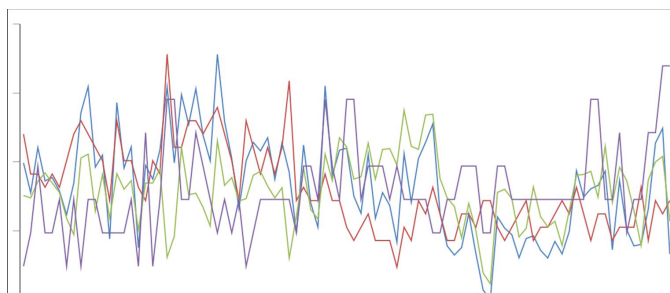
Paciente 1.
En color Azul se representa el MP; en Verde el VT; en Rojo la FR; en Violeta la PEEP.



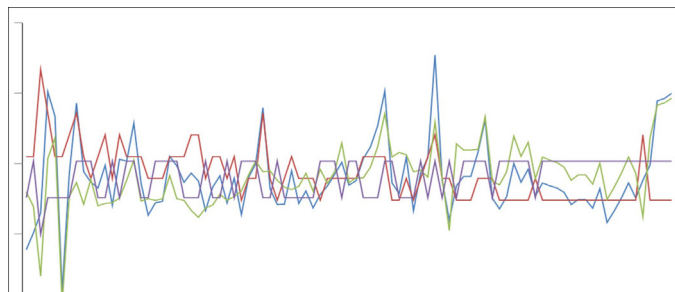
Paciente 2.
En color Azul se representa el MP; en Verde el VT; en Rojo la FR; en Violeta la PEEP.



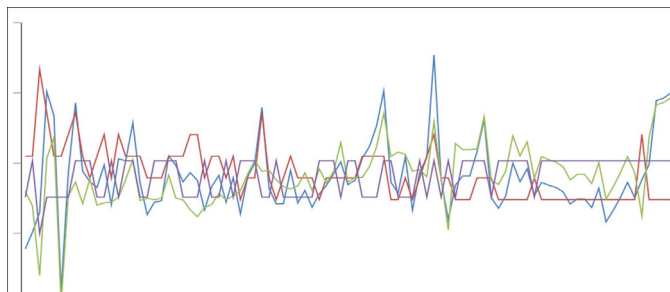
Paciente 3.
En color Azul se representa el MP; en Verde el VT; en Rojo la FR; en Violeta la PEEP.



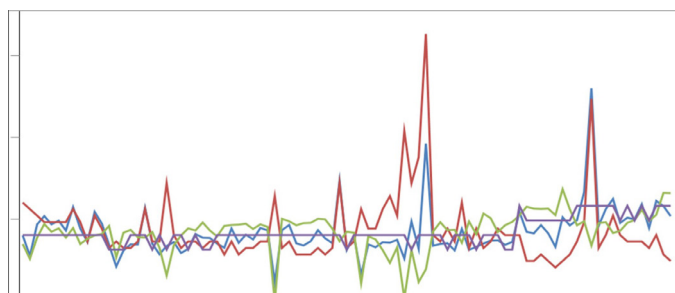
Paciente 4.
En color Azul se representa el MP; en Verde el VT; en Rojo la FR; en Violeta la PEEP.



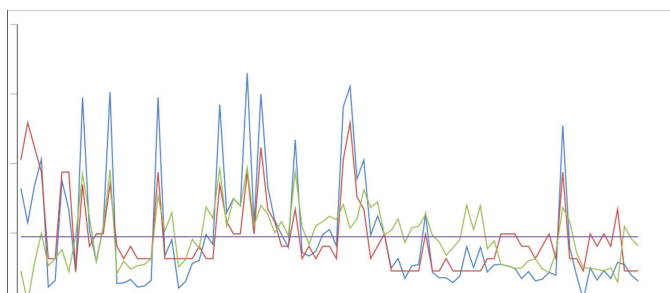
Paciente 6.
En color Azul se representa el MP; en Verde el VT; en Rojo la FR; en Violeta la PEEP.



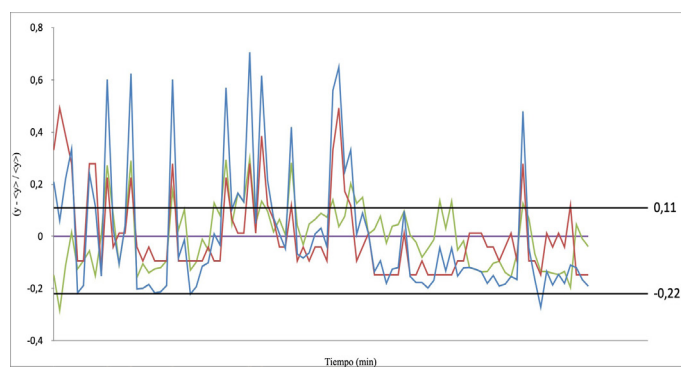
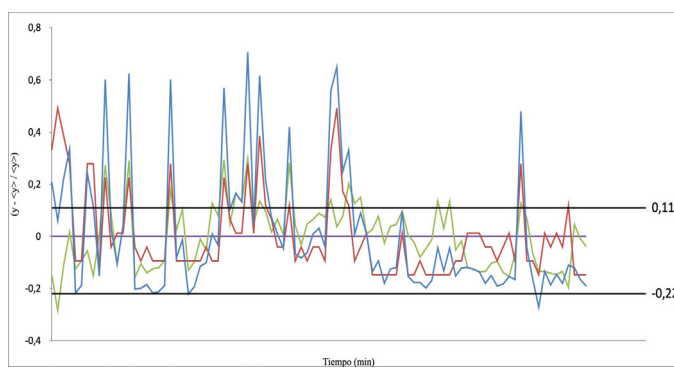
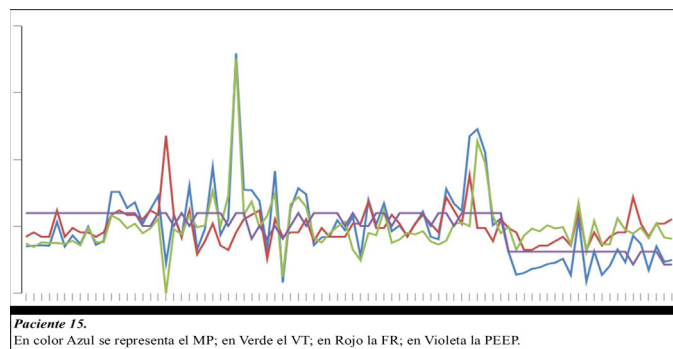
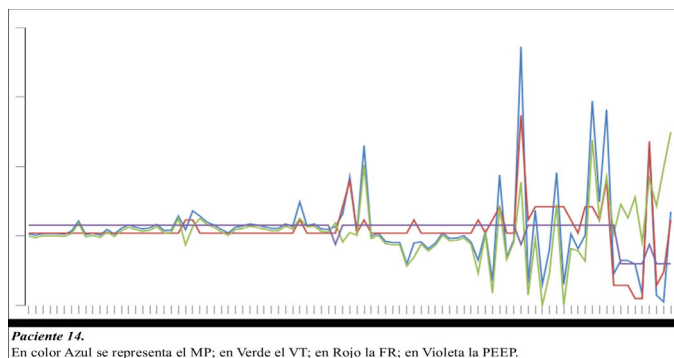
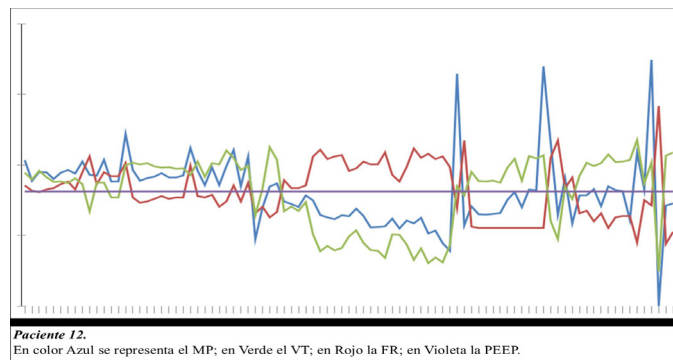
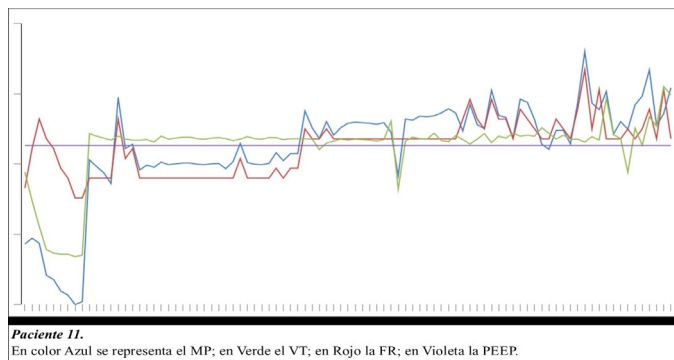
Paciente 6.
En color Azul se representa el MP; en Verde el VT; en Rojo la FR; en Violeta la PEEP.



Paciente 7.
En color Azul se representa el MP; en Verde el VT; en Rojo la FR; en Violeta la PEEP.



Paciente 8.
En color Azul se representa el MP; en Verde el VT; en Rojo la FR; en Violeta la PEEP.



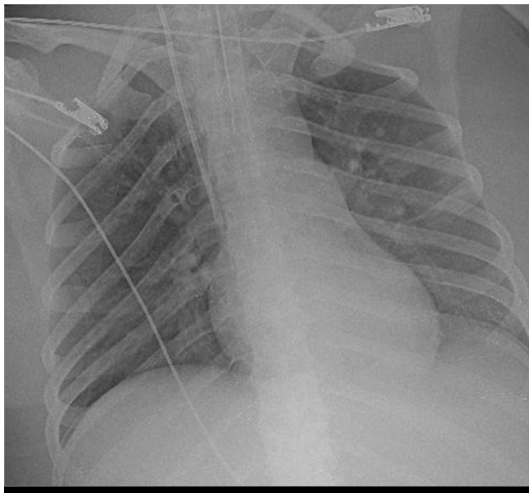
Anexo III. Correlación entre variables

1	MP	FR	VT	PEEP
MP	1.	0.88766471	0.93886137	0.88534136
FR	0.88766471	1.	0.92638798	0.99368666
VT	0.93886137	0.92638798	1.	0.94086391
PEEP	0.88534136	0.99368666	0.94086391	1.
2				
MP	1.	0.8946781	0.92223553	0.88478175
FR	0.8946781	1.	0.74608052	0.86831421
VT	0.92223553	0.74608052	1.	0.84369737
PEEP	0.88478175	0.86831421	0.84369737	1.
3				
MP	1.	0.92105999	0.86137494	0.87387813
FR	0.92105999	1.	0.87086573	0.89738301
VT	0.86137494	0.87086573	1.	0.906803
PEEP	0.87387813	0.89738301	0.906803	1.
4				
MP	1.	0.90954946	0.89155522	0.77918702
FR	0.90954946	1.	0.81220793	0.7556794
VT	0.89155522	0.81220793	1.	0.83716737
PEEP	0.77918702	0.7556794	0.83716737	1.
6				
MP	1.	0.93157119	0.97094012	0.92762987
FR	0.93157119	1.	0.90415954	0.93679395
VT	0.97094012	0.90415954	1.	0.95791359
PEEP	0.92762987	0.93679395	0.95791359	1.
7				
MP	1.	0.75657808	0.76846217	0.83399554
FR	0.75657808	1.	0.44325507	0.68478762
VT	0.76846217	0.44325507	1.	0.89478329
PEEP	0.83399554	0.68478762	0.89478329	1.
8				
MP	1.	0.93503517	0.89527037	0.80233728
FR	0.93503517	1.	0.86499062	0.89715342
VT	0.89527037	0.86499062	1.	0.93638083
PEEP	0.80233728	0.89715342	0.93638083	1.
9				
MP	1.	0.70403243	0.87923366	0.84640618
FR	0.70403243	1.	0.44518407	0.90901649
VT	0.87923366	0.44518407	1.	0.7089349
PEEP	0.84640618	0.90901649	0.7089349	1.

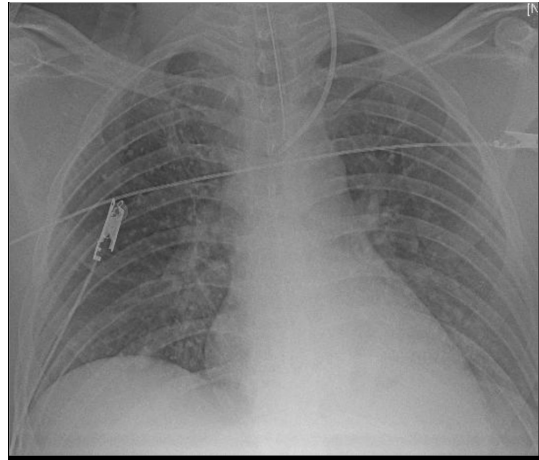
11				
MP	1.	0.89511736	0.94796983	0.81839072
FR	0.89511736	1.	0.88682372	0.93247875
VT	0.94796983	0.88682372	1.	0.90680169
PEEP	0.81839072	0.93247875	0.90680169	1.
12				
MP	1.	0.81105394	0.92762142	0.90937972
FR	0.81105394	1.	0.73900171	0.93927621
VT	0.92762142	0.73900171	1.	0.90840959
PEEP	0.90937972	0.93927621	0.90840959	1.
13				
MP	1.	0.68861923	0.7618225	0.8517355
FR	0.68861923	1.	0.22902829	0.72788311
VT	0.7618225	0.22902829	1.	0.79368999
PEEP	0.8517355	0.72788311	0.79368999	1.
14				
MP	1.	0.94616493	0.92945268	0.91271111
FR	0.94616493	1.	0.89373109	0.95324983
VT	0.92945268	0.89373109	1.	0.91184092
PEEP	0.91271111	0.95324983	0.91184092	1.
15				
MP	1.	0.04232827	0.99598955	0.19135729
FR	0.04232827	1.	0.02311574	0.18497043
VT	0.99598955 -	0.02311574	1.	0.13186874
PEEP	0.19135729	0.18497043	0.13186874	1.

Anexo IV. Radiografías de Tórax

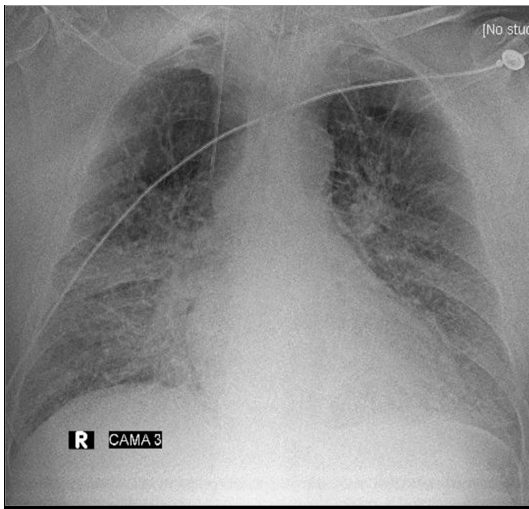
Se presentan las radiografías de los pacientes incluidos en el estudio, tomadas en el día que corresponde a los registros de MP calculados.



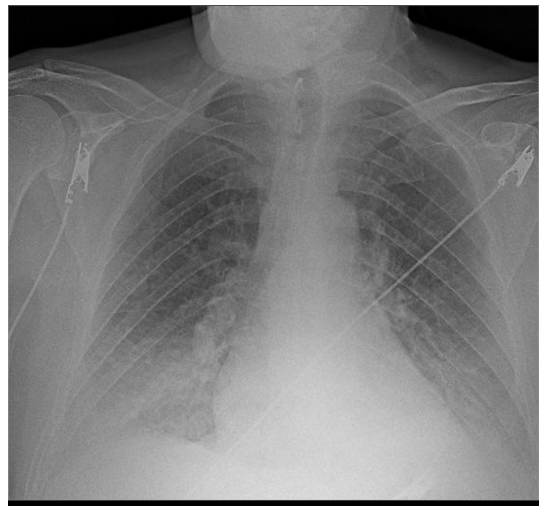
Paciente 1. Sexo Femenino. 76 años.
Diagnóstico al Ingreso: Paro Cardiorrespiratorio; Neumonía.



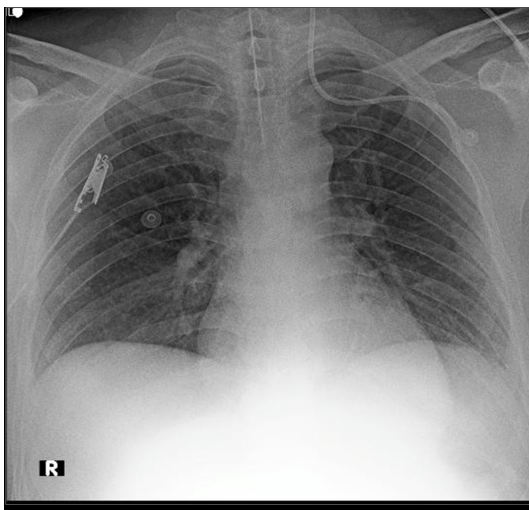
Paciente 2. Sexo Femenino. 37 años.
Diagnóstico al Ingreso: Traumatismo Encéfalo Craneano; Postoperatorio Neuroquirúrgico.



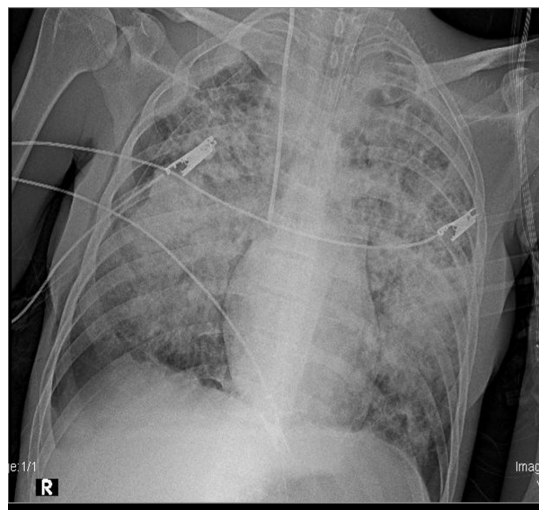
Paciente 3. Sexo Masculino. 24 años.
Diagnóstico al Ingreso: Pancreatitis Aguda



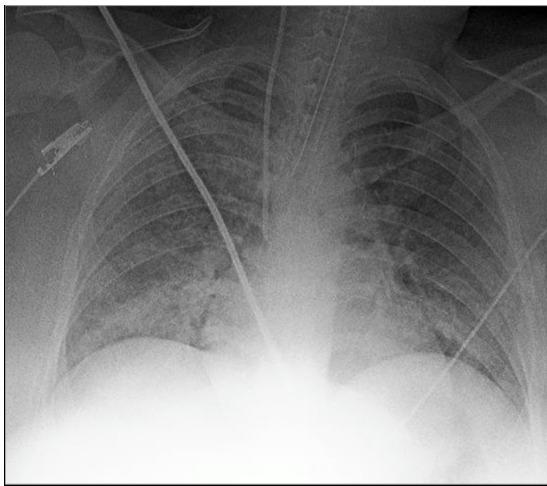
Paciente 4. Sexo Femenino. 74 años.
Diagnóstico al Ingreso: Paro Cardiorrespiratorio; Neumonía.



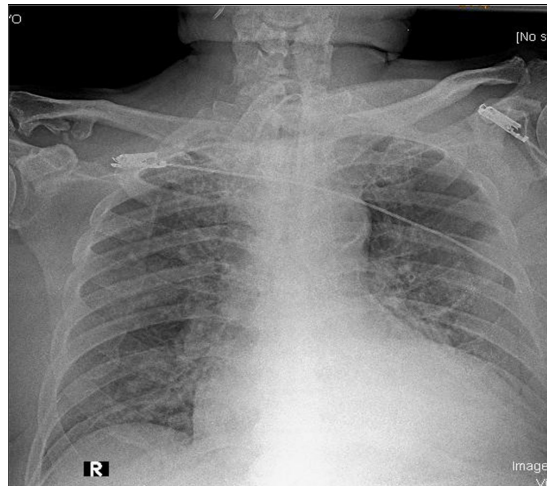
Paciente 6. Sexo Masculino. 18 años.
Diagnóstico al Ingreso: Politrauma Grave; Cirugía Abdominal.



Paciente 7. Sexo Femenino. 18 años.
Diagnóstico al Ingreso: Síndrome de Distrés Respiratorio Agudo.



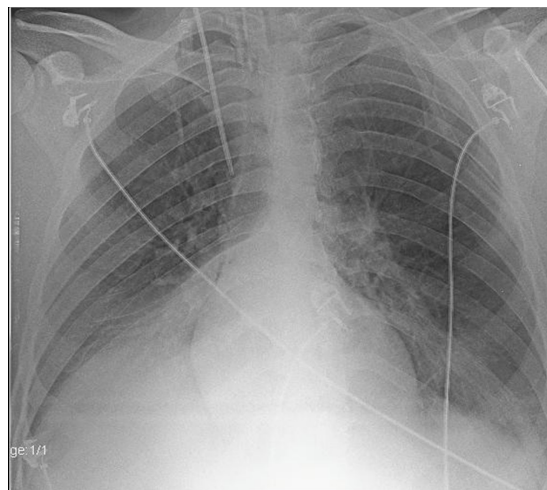
Paciente 8. Sexo Masculino. 24 años.
Diagnóstico al Ingreso: Politrauma Grave; Shock Hipovolémico.



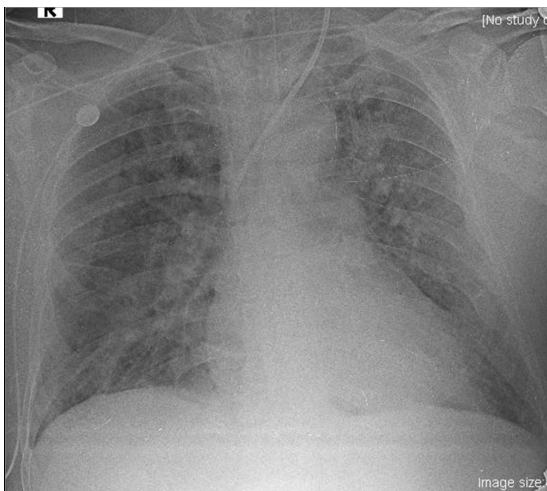
Paciente 9. Sexo Masculino. 71 años.
Diagnóstico al Ingreso: Paro Cardiorrespiratorio; Cardiopatía Isquémica.



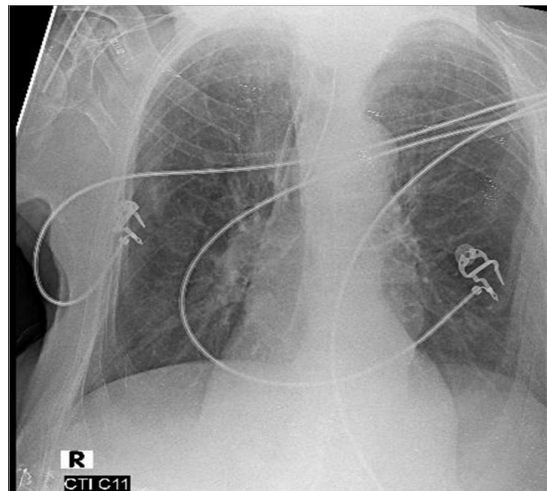
Paciente 12. Sexo Masculino. 37 años.
Diagnóstico al Ingreso: Politrauma Grave; Cirugía Abdominal.



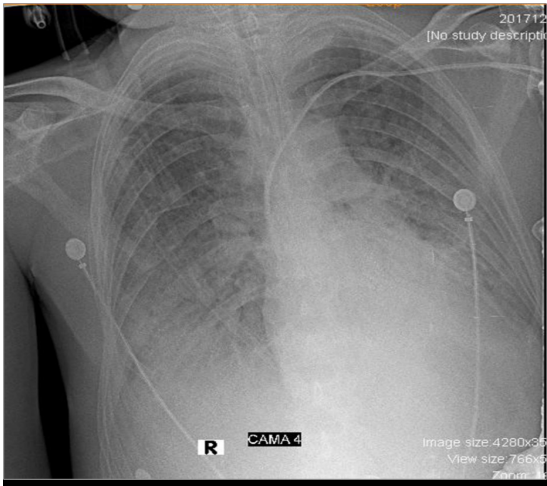
Paciente 11. Sexo Masculino. 37 años.
Diagnóstico al Ingreso: Traumatismo Encéfalo Craneano.



Paciente 13. Sexo Masculino. 51 años.
Diagnostico al Ingreso: Paro Cardiorrespiratorio; Infección Respiratoria.



Paciente 14. Sexo Masculino. 37 años.
Diagnóstico al Ingreso: Sepsis Respiratoria.



Paciente 15. Sexo Femenino. 77 años.
Diagnóstico al Ingreso: Politrauma Grave; Traumatismo Encéfalo-Craneano.