

# Correlación de variables hemodinámicas medidas por cardiografía por impedancia y cateterismo derecho en hipertensión pulmonar: un estudio de cohorte prospectivo

## Correlation of hemodynamic variables measured by impedance cardiography and right heart catheterization in pulmonary hypertension: a prospective cohort study

F. Leonel Benaim<sup>1</sup>, Franco S. Grazziani<sup>1</sup>, Cecilia Villa Etchegoyen<sup>1</sup>, Marcelo Boscaro<sup>2</sup>, Edgardo Kaplinski<sup>3</sup>, Alejandro Barbagelata<sup>1</sup>

### RESUMEN

**Introducción.** La hipertensión pulmonar (HTP) es una alteración fisiopatológica que se caracteriza por el aumento de la presión en la circulación pulmonar. Su diagnóstico de certeza es mediante un cateterismo cardíaco derecho con un catéter de Swan Ganz, método que no carece de complicaciones menores y mayores. Nuestro estudio busca correlacionar variables hemodinámicas entre el cateterismo derecho (CCD) y la cardiografía por impedancia (CI) en pacientes con HTP.

**Métodos.** Se realizó un trabajo prospectivo de único centro. Se incluyeron pacientes mayores de 18 años con diagnóstico o sospecha de HTP que se derivaban para realizar un CCD. Dentro de las 4 hs post-CCD se realizaba la CI y se tabulaban todas las variables.

**Resultados.** Se incluyeron 17 pacientes con una edad media de 55 años, mujeres en su mayoría; 12 pacientes tenían HTP grupo I. Los valores de índice cardíaco tuvieron una correlación significativa entre ambos métodos (coeficiente de Pearson 0,6;  $p < 0,009$ ). En cuanto a las resistencias vasculares sistémicas entre ambas técnicas hubo concordancia significativa (coeficiente de concordancia de Lin 0,42;  $p < 0,038$ ). La frecuencia cardíaca entre las dos técnicas diagnósticas mostró correlación significativa (coeficiente de Pearson 0,56;  $p = 0,019$ ). No hubo correlación ni concordancia entre agua corporal total y presión wedge.

**Discusión.** Nuestro trabajo mostró correlación y concordancia en variables como frecuencia cardíaca, resistencia vascular sistémica e índice cardíaco.

**Palabras clave:** hipertensión pulmonar, cardiografía por impedancia, cateterismo derecho.

### ABSTRACT

**Introduction.** Pulmonary hypertension (PH) is a pathophysiological condition characterized by elevated pressure in the pulmonary circulation. The definitive diagnosis is made through right heart catheterization using a Swan-Ganz catheter, a method with minor and major complications. Our study aims to correlate hemodynamic variables between right heart catheterization (RHC) and impedance cardiography (ICG) in patients with PH.

**Methods.** A prospective, single-center study was conducted. Patients aged over 18 years with a diagnosis or suspicion of PH who were referred for RHC were included. ICG was performed within 4 hours post-RHC, and all variables were recorded.

**Results.** Seventeen patients were included, with a mean age of 55 years and a majority being female. Twelve patients had Group I PH. Cardiac index values showed a significant correlation between the two methods (Pearson correlation coefficient 0,6;  $p < 0,009$ ). Systemic vascular resistances showed significant concordance between the techniques (Lin's concordance coefficient 0,42;  $p < 0,038$ ). Heart rate also showed significant correlation between the two diagnostic techniques (Pearson correlation coefficient 0,56;  $p = 0,019$ ). No correlation or concordance was observed between total body water and wedge pressure.

**Discussion.** Our study demonstrated correlation and concordance in variables such as heart rate, systemic vascular resistance, and cardiac index. The findings are relevant for monitoring and evaluating treatment response in patients with confirmed Group I PH.

**Key words:** pulmonary hypertension, impedance cardiography, right heart catheterization.

Revista Argentina de Cardioangiología Intervencionista 2024;15(4):197-204. <https://doi.org/10.30567/RACI/202404/197-204>

### INTRODUCCIÓN

La hipertensión pulmonar (HTP) es una alteración fisiopatológica que se caracteriza por una elevación de la presión en la circulación pulmonar vinculada a múltiples entidades clínicas y que, por lo general, suele complicar a la mayoría de las enfermedades cardiovasculares y respiratorias<sup>1</sup>.

Su definición se basa en la determinación de una presión media de la arteria pulmonar (APm) superior a 20 mmHg medido por cateterismo derecho (CD) y este valor, junto a la

estimación de la presión capilar o presión de enclavamiento (PW) y de la resistencia vascular pulmonar (RVP) permite clasificar a la HTP en: 1) HTP precapilar: RVP  $> 2$  UW y PW  $\leq 15$  mmHg; 2) HTP poscapilar aislada: RVP  $< 2$  y PW  $> 15$  mmHg; y 3) HTP combinada (pre- y poscapilar): RVP  $> 2$  UW y PW  $> 15$  mmHg<sup>2</sup>.

El CD no solo hace posible realizar el diagnóstico y clasificar la HTP, sino que, además, evalúa la gravedad de esta y establece su pronóstico. En este contexto, el CD nos permite valorar la respuesta a la sobrecarga de volumen (solución hídrosalina), efectuar una angiografía pulmonar y, finalmente, realizar una prueba de vasoreactividad pulmonar<sup>3</sup>.

La prueba de vasoreactividad pulmonar es un método que se realiza durante el cateterismo derecho en los pacientes con hipertensión arterial pulmonar para valorar a los respondedores agudos que pueden ser candidatos para tratar con bloqueantes cálcicos a altas dosis.

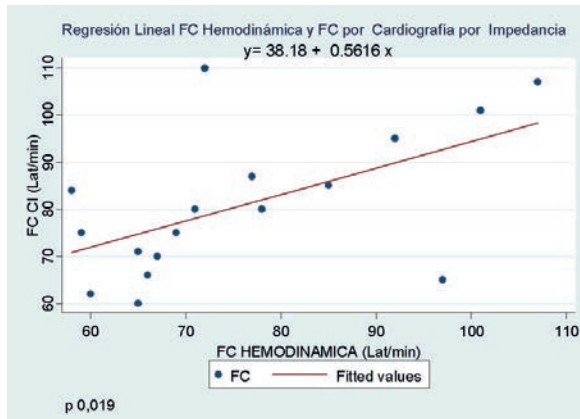
El CD es un procedimiento invasivo, complejo y que requiere de experiencia, de modo que debe realizarse en centros con operadores adecuadamente formados para obtener in-

1. Universidad Católica Argentina, Buenos Aires, Argentina
2. Centro de investigación y docencia de Espacio Santa María, Córdoba, Argentina
3. Hospital municipal de Badalona; Barcelona, España

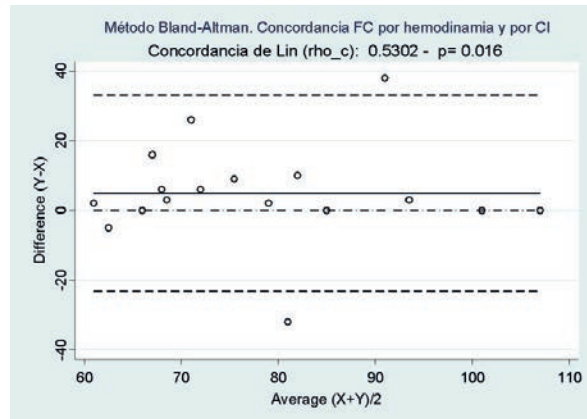
✉ Correspondencia: Leonel Benaim. Bahía sin Fondo 250, U9102FLF Trelew, Chubut, Argentina. [leonelbenaim@gmail.com](mailto:leonelbenaim@gmail.com)

Los autores no declaran conflictos de intereses

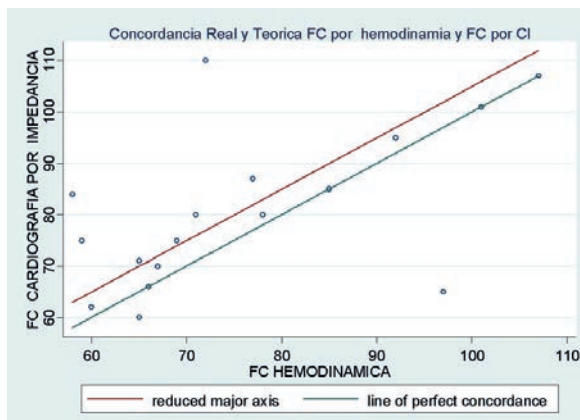
Recibido: 10/01/2025 | Aceptado: 11/02/2025



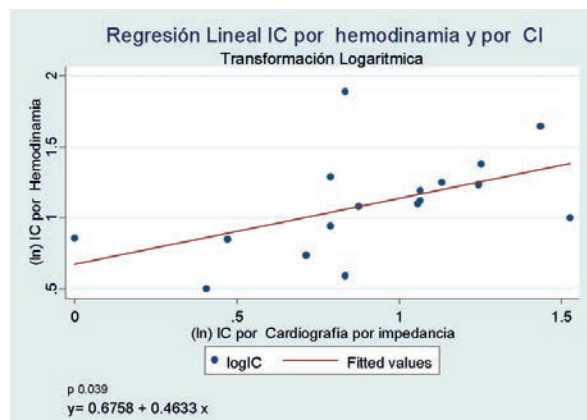
**Figura 1.** Análisis de regresión lineal. Frecuencia cardíaca cuantificada mediante cateterismo derecho y cardiografía por impedancia. CI: Cardiografía por impedancia.



**Figura 2.** Gráfico de Bland Altman para frecuencia cardíaca entre cateterismo derecho y cardiografía por impedancia. FC: Frecuencia Cardíaca, CI: Cardiografía por impedancia. (Las líneas punteadas superior e inferior demarcan el IC del 95%)



**Figura 3.** Comparación de concordancia ideal y real entre frecuencia cardíaca por cateterismo cardíaco derecho y cardiografía por impedancia, donde se ve de color azul el de concordancia perfecta y en rojo el real, siendo paralelas y muy similares. CI: Cardiografía por impedancia. FC: Frecuencia Cardíaca (Lat/min)



**Figura 4.** Análisis de regresión lineal. Índice cardíaco (IC) cuantificada mediante cateterismo derecho y cardiografía por impedancia. IC: Índice Cardíaco. Se utilizó transformación logarítmica

formación precisa y reproducible y, a la vez, minimizar sus riesgos. Es un método invasivo que presenta efectos adversos durante su utilización.

La cardiografía por impedancia (CI) es un método no invasivo que se basa en obtener una representación eléctrica del flujo cardíaco, para lo cual requiere de emplazar 6 electrodos a nivel del tórax .

Es un método frecuentemente utilizado en insuficiencia cardíaca y en hipertensión arterial.<sup>4</sup>

Por el contrario, existe escasa evidencia que correlacione los datos obtenidos en el CD y la CI para el seguimiento de paciente con HTP.

El objetivo de este trabajo fue evaluar, en una población de pacientes con HTP, de manera prospectiva la correlación y la concordancia de las mediciones de la RVS e IC obtenidas por CD y CI y, además, valorar la correlación existente entre volumen de fluidos intratorácicos y PW obtenidos por ambos métodos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Población.** El estudio fue llevado a cabo en una cohorte prospectiva de pacientes derivados a un centro privado de Trelew, Chubut, para la realización de un CCD por sospecha de HTP o para el seguimiento de dicha patología, des-

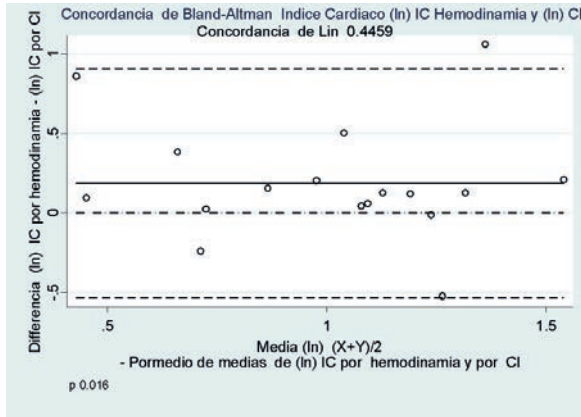
de septiembre del 2021 hasta abril de 2023. Se requirió a los individuos incluidos en el estudio ser mayores de 18 años y la firma de un consentimiento informado. Todos los pacientes con resultados poco concluyentes de HTP en el CD, que no pudieran realizar la CI en un lapso no mayor de 4 hs post-CD o que exhibieran mala señal en la CI, fueron excluidos.

**Variabes.** Se recopilaron distintos datos hemodinámicos, los cuales se describen a continuación, y datos clínicos de los pacientes incluidos tales como edad, género, existencia de comorbilidades, tipo de HTP y el uso de medicación específica para HTP (inhibidores de fosfodiesterasa 5, inhibidores de endotelina y/o prostanoides).

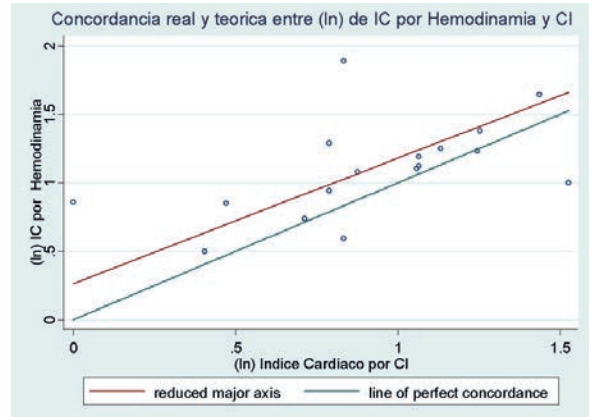
**Cateterismo cardíaco derecho.** La evaluación hemodinámica se realizó en posición supina y al aire ambiente. Se insertó por vía yugular o femoral derecha un introductor de 7 Fr por el cual se desplazó un catéter de Swan Ganz, de cuatro lúmenes y punta balón (Arrow™). Mediante control de presiones intracavitarias con un monitor multiparamétrico, se avanzó hasta la arteria pulmonar corroborado por el registro de una curva de presión de la arteria pulmonar. La evaluación hemodinámica incluyó medición de la presión auricular derecha (PAD), la presión media de la arteria pulmonar (PAPm), la presión de enclavamiento de la arteria pulmonar (PAWP) y el gasto cardíaco.

El índice cardíaco se calculó como:

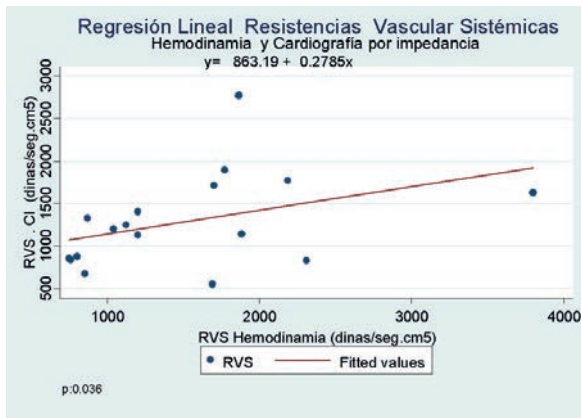
$$CI = CO/\text{superficie corporal}$$



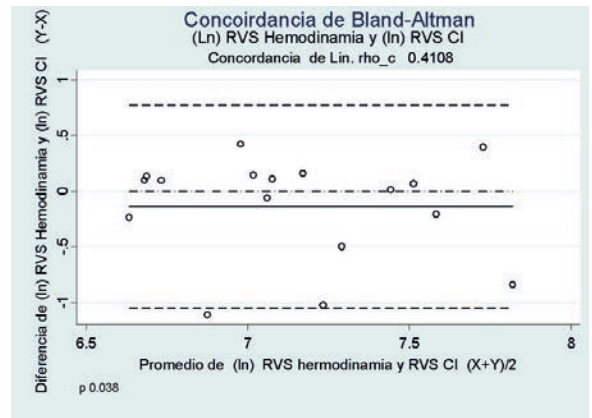
**Figura 5.** Gráfico de Bland Altman para índice cardíaco entre cateterismo derecho y cardiografía por impedancia. (ln): logaritmo natural. CI: Cardiografía por impedancia. (Las líneas punteadas superior e inferior demarcan el IC del 95%)



**Figura 6.** Comparación de concordancia ideal y real entre índice cardíaco (IC) por cateterismo cardíaco derecho y cardiografía por impedancia (CI), donde se ve de color azul el de concordancia perfecta y en rojo el real, siendo paralelas y muy similares.



**Figura 7.** Análisis de regresión lineal. Resistencia vascular sistémica (RVS) cuantificada mediante cateterismo derecho y cardiografía por impedancia. RVS: Resistencias Vasculares Sistémicas



**Figura 8.** Gráfico de Bland Altman de resistencia vascular sistémica entre cateterismo derecho y cardiografía por impedancia. RVS: Resistencias Vasculares Sistémicas. CI: Cardiografía por impedancia. Ambas líneas punteadas representan 2 desvíos estándar por encima y por debajo. (Las líneas punteadas superior e inferior demarcan el IC del 95%)

La resistencia vascular pulmonar (PVR) se calculó como:  

$$PVR = (mPAP - PAWP)/CO$$

**Cardiografía por impedancia.** Las mediciones de CO por cardiografía por impedancia se realizaron con un dispositivo Z-Logic™ (Exxer, Argentina) y por un mismo operador que desconocía los resultados del CD. Se aplicaron dos electrodos, uno transmisor y otro receptor, en la región izquierda de la base del cuello, y dos más a lo largo de la zona xifoidea. Se registraron las variaciones de la impedancia después de la inyección de una corriente eléctrica débil (3,8 mA) pero de alta frecuencia (75 Hz) las cuales representan las variaciones del flujo sanguíneo en el tórax. Se utilizó la siguiente ecuación para deducir el volumen sistólico según la variación de la impedancia en el tiempo:

$$VES = TEGV [(dZ/dt) \max/Z_0]$$

donde TEGV es el tiempo de eyección del ventrículo izquierdo, K es una constante según el sexo, edad y tamaño del paciente, Z<sub>0</sub> es la impedancia básica y dZ/dt la variación de la impedancia en el tiempo. Se registró la señal durante 20 minutos y luego se promediaron los resultados.

**Análisis estadístico.** Se evaluaron las variables en cuanto a su distribución, por medio del test de Shapiro Wilk, el test de normalidad basado en asimetría y curtosis y por medios de gráficos (histograma y el gráfico de probabilidad de distribución normal, estandarizado). Las variables de acuerdo con su distribución se informaron como media y desvío estándar

(DE) para distribución normal, y mediana e intervalo intercuartílico (IIC) para distribución no normal. Para variables discretas se determinó su frecuencia relativa.

Se compararon las diferentes variables continuas, de acuerdo con su distribución normal o no, por medio del test de Student o por medio del test de rangos signados para datos apareados con respecto a la medición hemodinámica y la medición por cardiografía por impedancia. Se consideró estadísticamente significativo una  $p < 0,05$ .

Se analizó la correlación entre las variables continuas (volumen minuto, índice cardíaco, resistencias vasculares sistémicas, compliance, contenido de fluidos torácicos (CFT) y presión de enclavamiento, y CFT y presión en aurícula derecha para ambos métodos (CCD y CI). A su vez, se correlacionaron FC, PAS, PAD y PAM entre los dos métodos de medición. Se utilizó para evaluar correlación de variables con distribución normal el test de Pearson, y el test de Spearman para distribuciones no normales. Se consideró estadísticamente significativa una  $p < 0,05$ .

Para evaluar concordancia en métodos se utilizaron los gráficos de Brand Altman, el test de concordancia de Lin, en donde se consideró que existía concordancia con una  $p < 0,05$ .

En el caso de que la distribución de la diferencia de las medias bivariable diera un patrón de distribución no normal, se realizará una transformación logarítmica (ln) de los datos.

**TABLA 1.** Variables demográficas de la muestra de pacientes con y sin hipertensión pulmonar.

Variabes	Cohorte total (n= 17)
Edad, mediana (RIC)	55 [46-78]
Género femenino, n (%)	14 [82,35%]
Superficie corporal (m <sup>2</sup> ), Mediana (RIC)	1.84 [1.60-2.00]
Grupo HTP, n (%)	
1	12 [70,59%]
2	2 [11,76%]
3	2 [11,76%]
4	1 [5,88%]
HTA	5 [29,41%]
Diabetes, n (%)	3 [17,65%]
Dislipemia, n (%)	4 [23,53%]
Escala NYHA, n (%)	
1	3 [17,65%]
2	4 [23,53%]
3	10 [58,82%]
4	0 [0%]
HTP: Dx	
De novo, n [%]	13 [76,47%]
Conocido, n [%]	4 [23,53%]
Utilización de IPS, n (%)	
Sildenafil, n (%)	9 [52,94%]
Tadalafilo, n (%)	1 [5,88%]
Utilización de ERA, n (%)	
Macitentan, n (%)	6 [35,39%]
Ambrisentan, n (%) (IC95%)	1 [5,88%]
Utilización de prostanoides, % (IC95%)	
Epoprostenol, % (IC95%)	1 [5,88%]
Riociguat n (%)	0 [0%]
Uso de O <sub>2</sub> n (%)	0 [0%]

Abreviaturas: Dx: diagnóstico; ERA: inhibidor del receptor de endotelina; ev: endovenoso; HTA: hipertensión arterial; HTP: hipertensión pulmonar; IC: índice de confianza; IPS: inhibidor de fosfodiesterasa V; n: numero; O<sub>2</sub>: oxígeno

Para realizar el análisis estadístico se utilizó el software Stata 14 (StataCorp LLC, Texas, USA).

## RESULTADOS

**Pacientes seleccionados.** Se incluyeron 17 pacientes, con una edad media de 55 años y de los cuales el 82,35% eran mujeres. La superficie corporal mediana fue de 1,84 m<sup>2</sup> para la cohorte total. De los 17 pacientes, 12 tenían HTP del grupo I, 2 tenían HTP del grupo II, 2 pertenecían al grupo de HTP del grupo III y 1 paciente tenía HTP del grupo IV. No había pacientes del grupo V. En cuanto a los factores de riesgo cardiovascular clásico, el 29,4% tenían hipertensión arterial, el 17,65% tenía diabetes, el 23,53% tenía dislipemia. Con relación a la escala NYHA, el 58,8% se encontraba en clase funcional 3, el 23,5% en clase funcional 2 y 17,65% en clase funcional 1. En cuanto al tratamiento con inhibidores de la fosfodiesterasa-5 (IPS), el 52,94% utilizaba sildenafil y el 5,88% utilizaba tadalafilo. El 35,39% de los pacientes con HTP utilizaba macitentan, el 5,88% ambrisentan, y el 5,88% usaba epoprostenol endovenoso únicamente.

En la **Tabla 1** se resumen las características clínicas y epidemiológicas de los pacientes incluidos en el estudio.

**Comparación entre métodos.** Los valores de IC, RVS y *compliance* medidos por hemodilución por CCD y por CI fueron: IC 3,01 l/m/m<sup>2</sup> SC (IIC: 2,36-3,49) vs. 2,4 l/m/m<sup>2</sup> SC (IIC: 2,2-3,1) (p=0,0109), RVP 1200 dyn/s/cm<sup>5</sup> (IIC:

**TABLA 2.** Características hemodinámicas por cateterismo derecho y por cardiografía por impedancia.

	Cateterismo cardiaco derecho	Cardiografía por impedancia	P (*/**)
PAS (mmHg), (media ± DE)	128.4±14.75	121.4±20.62	*0.2010
PAD (mmHg), (media ± DE)	81±18.37	75.4±15.80	*0.2519
PAM (mmHg), (media ± DE)	90.88±12.17	85.9±14.07	*0.2577
FC (lpm) (media ± DE)	80.76±15.31	75.82±15.31	*0.1745
GC (l/min) (media ± DE)	5.54±1.94	4.74±1.54	*0.1309
IC (l/min/SC (VM/SC) (mediana, IIC)	3,01 (2.36-3.49)	2,4 (2,2-3,1)	**0.0191
RVS (dinas/seg,cm5), (mediana, IIC)	1200 (857-1631)	1201 (870-1865)	**0.06
<i>Compliance</i> (ml/mmHg), (mediana, IIC)	2.26 (1.69-4.47)	1.53 (1.27-2.35)	**0.0758

\*Test de Student para datos apareados- \*\* Test de rangos signados para datos apareados. Abreviaturas: DE: desvío estándar; FC: frecuencia cardíaca; GC: gasto cardíaco; IC: índice cardíaco; PAS: presión arterial sistólica; PAD: presión arterial diastólica; PAM: presión arterial media; RVS: resistencia vascular sistémica;

857-1631) vs. 1201 dyn/s/cm<sup>5</sup> (IIC: 870-1865) (p=0,0627), y *compliance* 2,26 ml/mmHg (IIC: 1,69-4,47) vs. 1,53 ml/mmHg (IIC: 1,27-2,35) (p=0,0758). En cuanto a la FC los valores cuantificado por cateterismo derecho fue de 80,76 lpm ± 15,31 lpm, y de 75,82 lpm ± 15,31 (p=0,1745).

En la **Tabla 2** se muestran las diferencias entre ambos grupos de las otras variables hemodinámicas por cateterismo derecho y por cardiografía por impedancia.

## Análisis de variables hemodinámicas

**Frecuencia cardíaca.** Los valores de FC medidos por cateterismo cardíaco derecho y por CI fueron de 80,76±15,31 vs. 75,82±15,31 respectivamente. La correlación entre ambas variables es significativa (coeficiente de Pearson 0,56, p=0,019). La ecuación de regresión lineal entre los métodos tiene una pendiente de 0,5616 (IC95%: 0.1062043-1,017012) y una intersección de 38,1816 (p=0,019). El coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>) = 0.31 (**Figura 1**).

El análisis de Bland Altman para todas las medidas de IC realizadas mediante CCD y CI mostró una diferencia de medias de 4,94 (IC95%: -2.430395-12.31275) con límites de acuerdo entre -23,15 y 33,04 (**Figura 2**). El coeficiente de concordancia de Lin (rho\_c) fue de 0,5302, demostrando ambos métodos concordancia estadísticamente significativa (p=0,016).

La comparación entre el modelo de concordancia obtenido y un modelo de concordancia ideal entre ambas técnicas mostró una distribución similar de las variables y rectas paralelas (**Figura 3**).

**Índice cardíaco.** Los valores de IC medidos por cateterismo cardíaco derecho y por CI fueron de 3,01 l/min/m<sup>2</sup> (IIC: 2,36-3,49) y 2,4 l/min/m<sup>2</sup> (IIC: 2,2-3,1), respectivamente p: 0.019. La correlación entre ambas variables es significativa (coeficiente de Spearman rho: 0,60; p=0,009). La ecuación de regresión lineal entre los métodos tiene una pendiente de 0,4633 (IC95%: 0,0862-0,8404) y una intersección de 0,6758. Coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>)= 0,25 (p=0,039) (**Figura 4**).

El análisis de Bland Altman para todas las medidas de IC realizadas mediante CCD y CI mostró una diferencia de medias de 0,18 (transformación logarítmica, test de normalidad Shapiro Wilk para Y-X; p=0,0027) con límites de acuerdo entre -0,53 y 0,91 (**Figura 5**). El coeficiente de concordancia de Lin fue de 0,4459, demostrando ambos métodos concordancia estadísticamente significativa (p=0,016). La comparación entre el modelo de concordancia obtenido y un modelo de concordancia ideal entre ambas técnicas mos-



**TABLA 3** Correlación entre variables hemodinámicas

Variable	Hemodinamia invasiva	Cardiografía por impedancia	Shapiro Wilk	Pearson	P
PW (media) (mmHg)	10,47059	39,6	0,33003 - ,96199	-0,1033	0,6933
Contenidos fluidos torácicos (ohm)					
AD (media) (mmHg)	10	39,6	0,18442 - 0,96199	-0,2495	0,3341
Contenidos fluidos torácicos (ohm)					
Frecuencia cardíaca (media) (lat./min)	80,76	75,82	0,36055 - 0,06723	0,5616	0,0190
PAS (media) (mmHg)	128,4118	121,4706	0,20461 - 0,72928	0,3000	0,2421
PAD (media) (mmHg)	81	75,41176	0,54490 - 0,90557	0,3644	0,1505
PAM (media) (mmHg)	90,88235	85,94118	0,37492 - 0,66971	0,1306	0,6172
VM media (l/min)	5,542941	4,744118	0,31713 - 0,47891	0,3133	0,2207

Variable	Hemodinamia invasiva	Cardiografía por impedancia	Shapiro Wilk	Correlación de Spearman	P
RVS (mediana) (dinas-seg/cm <sup>5</sup> )	1200	1201	0,12717 - 0,00822	0,4608	0,0627
IC (mediana) (l/m/SC)	3,01	2,04	0,03004 - 0,89785	0,6065	0,0098
Compliance (mediana) (ml/mmHg)	2,26	1,53	0,20723 - 0,04545	-0,0858	0,7432

Abreviaturas: AD: Aurícula derecha, PAS: Presión Arterial Sistólica, PAD: Presión Arterial Diastólica, PAM: Presión Arterial Media, VM: Volumen minuto, RVS: Resistencias vasculares sistémicas, IC: Índice cardíaco

**TABLA 4.** Concordancia entre variables hemodinámicas.

Variable	Test de concordancia de Lin (rho_c)	p	Diferencia de medias Brand Altman	Límites de acuerdo (95%)
VM(l/min)	0,342	0,100	,1520851	-6024399 - ,90661
Hemodinamia Invasiva y CI (ln)				
IC l/min (ln)	0,443	0,016	,1870353	-5329638 - ,9070343
RVS (dinas/seg.cm5) (ln)	0,418	0,038	-,1393835	-1,050808 - ,7720414
Compliance	-0,1142	0,543	,4889086	-1,274922 - 2,252739
Frecuencia cardíaca (lat./min) (ln)	0,515	0,004	,0647585	-2,880045 - ,4175214
PAS (mmHg)	0,263	0,212	6,941	-35,121 - 49,001
PAD (mmHg)	0,341	0,111	5,588	-32,405 - 43,581
PAM (mmHg)	0,120	0,608	4,941	-29,080 - 38,963

Variable	Test de concordancia de Lin (rho_c)	p	Deferencia de medias Brand Altman	Límites de acuerdo (95%)
PW (Media, DS) (mmHg)	-0,008	0,691	-29,129	-47,749 - -10,510
Contenidos Fluidos Torácicos (CFT) (Ohm)				
AD (mmHg)	-0,0173	0,212	-29,6	-48,00019 - -11,19981
CFT (Ohm)				

Abreviaturas: AD: Aurícula derecha, PAS: Presión Arterial Sistólica, PAD: Presión Arterial Diastólica, PAM: Presión Arterial Media, VM: Volumen minuto, RVS: Resistencias vasculares sistémicas, IC: Índice Cardíaco. CFT: Contenido de Fluidos Torácicos

tró una distribución similar de las variables y rectas paralelas (**Figura 6**).

**Resistencia vascular sistémica.** La mediana de las mediciones de RVS por termodilución por CCD fue de 1200 dyn/s/cm<sup>5</sup> con IIC: 857-1631; mientras que por CI fue de 1201 dyn/s/cm<sup>5</sup> con IIC: 870-1865. Estas variables tienden a correlacionar, sin llegar a la significancia estadística (coeficiente de Spearman 0,4608, p=0,0627). La ecuación de regresión lineal entre los métodos tiene una pendiente de 0,2785, IC95%: 0,0205-0,5364 y una intersección de 863,19. (p=0,036). Coeficiente de determinación (r<sup>2</sup>): 0,1566 (**Figura 7**).

El análisis de Bland Altman para todas las medidas de RVS realizadas mediante CCD y CI mostró una media de diferencia de medias de -0,1393 (transformación logarítmica, test de normalidad Shapiro Wilk para Y-X; p=0,0111) con límites del acuerdo entre -1,05 y 0,77 (**Figura 8**). El coeficiente de concordancia de Lin fue de 0,4195, demostrando ambos métodos concordancia estadísticamente significativa (p=0,038).

La comparación entre el modelo de concordancia obtenido y un modelo de concordancia ideal entre ambas técnicas mostró una distribución similar de las variables y rectas casi paralelas (**Figura 9**).

**Presión de enclavamiento y contenido de fluido intratorácico.** La PW medida por cateterismo cardíaco derecho fue de 10,47 mmHg ± 5,63, y el CFT medido por CI fue de 39,6 ohm ± 7,08. La correlación entre ambas variables no es estadísticamente significativa (coeficiente de Pearson -0,1033; p=0,6933). La ecuación de regresión lineal entre los métodos tiene una pendiente de -0,8211 (IC95%: -0,517396 a 0,3531679) y una intersección de 13,7223. No se demostró relación lineal entre las dos técnicas (p=0,69) (**Figura 10**).

En la **Tabla 3** figuran todas las correlaciones entre variables, en la **Tabla 4** todos los cálculos de concordancia de todas las variables que se compararon y en la **Tabla 5** los valores obtenidos de la regresión lineal simple realizado en todas las comparaciones.

TABLA 5. Regresión lineal.

	Intercepto	Coefficiente (pendiente)	T / p	F (p) R2/R2 ajustado
IC Hemodinamia/ IC Cardiografía	.6758133	.4633424	t=2.27 p=0.039	F(1,15) = 5.14 Prob > F = 0.0386 R2 = 0.2552 R2 Aj = 0.2055
RVS Hemodinamia/ Cardiografía	863.1902	.278546	t=2.30 p=0.036	F(1,15) = 5.3 Prob > F = 0.0361 R2=0.1566
Compliance	.3131476	-.1918727	T=-0.61 p= 0.549	F(1,15) = 0.38 Prob > F = 0.5492 R2 = 0.0244 R2 Aj = -0.0406
Frecuencia Cardíaca	2.10374	.5269605	T=2.54 p=0.023	F(1, 5) = 6.43 Prob > F = 0.0228 R2 = 0.3001 R2 Aj = 0.2535
PW/ cft	13.72231	-.0821141	T=-0.40 p= 0.693	F(1, 15) = 0.16 Prob > F = 0.6933 R2 = 0.0107 R2 Aj = -0.0553
AD/cft	16.46402	-.1632328	T=1.00 p=0.334	F(1, 15) = 1.00 Prob > F = 0.3341 R2 = 0.0623 R2 Aj = -0.0003

Abreviaturas: AD: Aurícula derecha, PAS: Presión Arterial Sistólica, PAD: Presión Arterial Diastólica, PAM: Presión Arterial Media, VM: Volumen minuto, RVS: Resistencias vasculares sistémicas, IC: Índice Cardíaco. CFT: Contenido de Fluidos Torácicos

## DISCUSIÓN

La cardiografía por impedancia es un método altamente validado en insuficiencia cardíaca e hipertensión arterial. No está altamente estudiado en pacientes con hipertensión pulmonar.

En la insuficiencia cardíaca descompensada, el aumento en el contenido de líquido del tórax durante el edema pulmonar o el derrame pleural explicaría la disminución en la impedancia torácica total en la CI, ya que los líquidos biológicos son excelentes conductores de electricidad<sup>5</sup>.

La utilidad de la CI en la predicción de la descompensación aguda por insuficiencia cardíaca debida al edema pulmonar se evaluó en un grupo de 33 pacientes con falla cardíaca crónica, clase funcional NYHA III y IV. Dicho estudio encontró una reducción significativa en los valores de impedancia basal antes de la hospitalización en todos los pacientes que tuvieron descompensación; y más importante aún, 15 días promedio antes del inicio de los síntomas de descompensación, los cuales iniciaban en promedio 3 días antes de la hospitalización<sup>6</sup>.

La utilidad de la CI en la identificación del riesgo de descompensación clínica en pacientes con falla cardíaca crónica también se evaluó en el estudio PREDICT, en el cual se observó el valor de diversas variables clínicas, así como de parámetros hemodinámicos determinados por CI, en la predicción de la descompensación aguda, en 212 pacientes con falla cardíaca estable y clase funcional NYHA II-IV. Este estudio demostró diferencias estadísticamente significativas en un gran número de parámetros hemodinámicos estimados por CI entre el grupo control y los pacientes que requirieron hospitalización por descompensación aguda. Los tres parámetros hemodinámicos que demostraron el mayor valor para predecir la descompensación aguda incluyeron un índice de contenido de líquido torácico aumentado, un índice de velocidad disminuido y un tiempo de eyección ventricular disminuido. El valor pronóstico de estos índices, considerados conjuntamente, demostró ser incluso mayor que otras

variables como la clase funcional según clasificación NYHA y los niveles de presión arterial sistólica<sup>7</sup>.

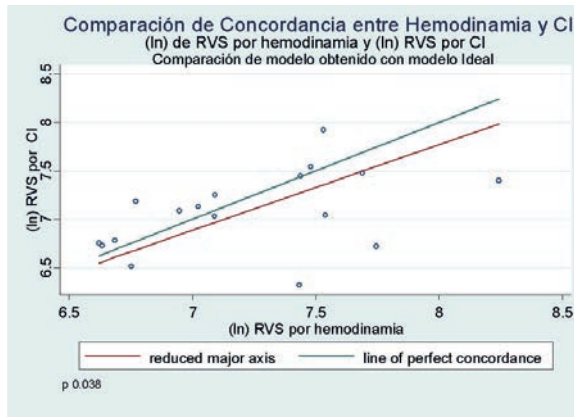
En cuanto a la hipertensión arterial, se han llevado a cabo varios estudios con el objetivo de evaluar si un nuevo enfoque de manejo de la hipertensión arterial basado en la utilización de la CI permite mejorar el alcance de las metas de control en los pacientes hipertensos<sup>8</sup>.

Al permitir la evaluación del volumen latido y otros parámetros hemodinámicos derivados (índice cardíaco, contractilidad miocárdica y resistencia vascular periférica), la CI permite realizar una caracterización hemodinámica de los pacientes hipertensos y por tanto, realizar un manejo farmacológico individualizado<sup>9</sup>.

En un ensayo clínico reciente, Taler y colaboradores aleatorizaron 104 pacientes con hipertensión arterial de difícil control a una estrategia de manejo convencional o a una estrategia de manejo de la hipertensión arterial guiada con CGI. Luego de tres meses de tratamiento farmacológico, además de una reducción significativa en los valores de presión arterial, las metas de control de la presión arterial se alcanzaron más frecuentemente en el grupo de manejo guiado con CGI que en el grupo control, manejado por un especialista en hipertensión arterial<sup>10</sup>.

En un análisis *post hoc* del estudio multicéntrico CONTROL se obtuvieron resultados similares, en donde 164 pacientes con hipertensión arterial mal controlada fueron aleatorizados a una estrategia de manejo clínico convencional, o a una estrategia terapéutica guiada con CI. Al comparar ambos grupos luego de tres meses de tratamiento, el control de la presión arterial se obtuvo con una frecuencia significativamente mayor en el grupo de tratamiento guiado con CGI, incluso cuando las metas de control venían definidas con valores más estrictos de presión arterial.<sup>11</sup>

Considerando la evidencia aportada por los diferentes estudios clínicos que han demostrado la utilidad de la CI en el manejo de la hipertensión arterial, al permitir diferenciar los distintos fenotipos hipertensivos (hiperdinámico, hiperreactividad vascular, sobrecarga de volumen, mixto), admitiría



**Figura 9.** Comparación de concordancia ideal y real entre resistencia vascular sistémica por cateterismo cardíaco derecho y cardiografía por impedancia, donde se ve de color azul el de concordancia perfecta y en rojo el real, siendo paralelas y muy similares.

un manejo individualizado de la hipertensión arterial según los índices hemodinámicos alterados, además de permitir el retiro de medicamentos innecesarios.

En hipertensión pulmonar existe escasa evidencia en el uso de cardiografía por impedancia para el manejo de este difícil grupo de pacientes. En el año 2018 Marion Dupuis y cols. presentaron un trabajo prospectivo de 75 pacientes en la Universidad de Toulouse, en Francia. Incluyeron pacientes mayores de 18 años con HTP grupo I o grupo IV. Compararon cateterismo cardíaco derecho con CI con equipo PHYSIOFLOW y método de Fick. Tuvo como objetivo evaluar la correlación entre gasto cardíaco por ambos métodos, llegando a un resultado positivo con una ecuación de regresión que tuvo una pendiente  $0,7 \pm 0,1$  y una intersección  $1,7 \pm 0,6$  correlacionados con  $r=0,365$  ( $p<0,001$ ). Este estudio no tuvo como objetivo la evaluación de las resistencias vasculares sistémicas ni intentar buscar una forma de correlacionar el agua corporal total medida en CI con la presión venosa central o la presión capilar<sup>12</sup>. En cuanto a nuestro estudio, el principal hallazgo fue que efectivamente existe una correlación y concordancia entre el IC, RVS y la FC medidos por CD y por CI en forma no invasiva.

Si bien es cierto que el diagnóstico de HTP se basa y requiere de un CD (estudio invasivo) para valorar los parámetros hemodinámicos, entendemos que la CI no podría reemplazar al CD en este cometido.

Las complicaciones asociadas al uso del CD están descritas en un 2% a 17%. Las más frecuentes suelen ser complicaciones locales en el sitio de punción, pero hay descritas complicaciones más severas como pseudoaneurismas, arritmias malignas y roturas arteriales<sup>13</sup>.

Los pacientes con HTP requieren seguimiento periódico de parámetros hemodinámicos para valorar las RVP y el IC para monitorear cambios en el tratamiento, por ejemplo. Este contexto podría, acorde a nuestra experiencia, presentar un nicho para la CI. La diferencia media entre las medicio-

nes del índice cardíaco obtenidas por cateterismo derecho y cardiografía por impedancia fue de  $0,6 \text{ l/min/m}^2$ .

La correlación de las resistencias vasculares sistémicas fue positiva.

No hubo correlación entre la presión de enclavamiento y el agua corporal total medida por CI. Esto apoya que con el método no invasivo no buscamos reemplazar al CCD para el diagnóstico de HAP, ya que la medición de la presión de enclavamiento es fundamental para definir si la hipertensión pulmonar es pre- o poscapilar.

Estos resultados proporcionan información valiosa sobre la relación entre diferentes variables medidas por cateterismo derecho y cardiografía por impedancia, así como sobre la concordancia entre las mediciones obtenidas por estos dos métodos.

## Limitaciones

La principal limitación del presente trabajo es el pequeño tamaño muestral, sumado a la falta de un cálculo de tamaño muestral previo al inicio del reclutamiento. Además, se podrían haber recabado mayor cantidad de datos epidemiológicos (por ejemplo, comorbilidades) de los pacientes, de modo tal que se podrían haber ajustado mayor cantidad de variables en los modelos de regresión para evaluar la correlación de las mediciones estudiadas.

## CONCLUSIONES

La cardiografía por impedancia utilizada en hipertensión pulmonar se presenta como un método con buena correlación respecto al cateterismo cardíaco derecho en parámetros como el índice cardíaco, resistencia vascular sistémica y frecuencia cardíaca.

No hay correlación entre la presión de enclavamiento y el agua corporal total.

La cardiografía por impedancia podría utilizarse en el seguimiento y monitoreo de pacientes con diagnóstico ya establecido de hipertensión arterial pulmonar.

## AGRADECIMIENTOS

A mi familia, que siempre es un sostén fundamental en mi carrera; a mis excompañeros de trabajo que colaboraron en parte en la realización de este material, y a mis coautores por la ayuda y experiencia brindada.

## PUNTOS CLAVE

**Conocimiento actual:** no existe demasiada evidencia en cardiografía por impedancia en la hipertensión pulmonar.

**Contribución del artículo al conocimiento actual:** nuestro trabajo da el puntapié inicial en la investigación de la cardiografía por impedancia para el seguimiento de pacientes con hipertensión pulmonar a fin de monitorear de forma no invasiva el índice cardíaco, las resistencias vasculares sistémicas y la frecuencia cardíaca.

## BIBLIOGRAFÍA

- Humbert M, Kovacs G, Hoepfer MM, et al. 2022 ESC/ERS Guidelines for the diagnosis and treatment of pulmonary hypertension. *Eur Heart J*. 2022 Oct 11;43(38):3618-3731.
- Simonneau G, Montani D, Celermajer DS, et al. Haemodynamic definitions and updated clinical classification of pulmonary hypertension. *Eur Respir J*. 2019 Jan 24;53(1):1801913.

3. Coronel LM, Diez M, Lema LR, et al. Recomendaciones para la realización de cateterismo cardíaco derecho en hipertensión pulmonar 2022. *Rev Argent Cardiol* 2022;90 (Suplemento 7):1-22.
4. Myers J, Wong M, Adhikarla C, et al. Cardiopulmonary and noninvasive hemodynamic responses to exercise predict outcomes in heart failure. *J Card Fail*. 2013 Feb;19(2):101-7.
5. Vollmann D, Nagele H, Schauerte P, et al. Clinical utility of intrathoracic impedance monitoring to alert patients with an implanted device of deteriorating chronic heart failure. *Eur Heart J* 2007;28:1835-40.
6. Yu CM, Wang L, Chau E, et al. Intrathoracic impedance monitoring in patients with heart failure: correlation with fluid status and feasibility of early warning preceding hospitalization. *Circulation* 2005;112:841-8.
7. Packer M, Abraham WT, Mehra MR, et al. Utility of impedance cardiography for the identification of short-term risk of clinical decompensation in stable patients with chronic heart failure. *J Am Coll Cardiol* 2006;47:2245-52.
8. Parrott CW, Quale C, Lewis DL, Ferguson S, Brunt R, Glass S. Systolic blood pressure does not reliably identify vasoactive status in chronic heart failure. *Am J Hypertens* 2005;18:825-6S.
9. Ferrario CM, Flack JM, Strobeck JE, Smits G, Peters C. Individualizing hypertension treatment with impedance cardiography: a meta-analysis of published trials. *Ther Adv Cardiovasc Dis* 2010;4:5-16
10. Taler SJ, Textor SC, Augustine JE. Resistant hypertension: comparing hemodynamic management to specialist care. *Hypertension* 2002;39:982-8.
11. Smith RD, Levy P, Ferrario CM. Value of noninvasive hemodynamics to achieve blood pressure control in hypertensive subjects. *Hypertension* 2006;47:771-7.
12. Dupuis, M., Noel-Savina, E., Prévot, et al. (2018). Determination of cardiac output in pulmonary hypertension using impedance cardiography. *Respiration* 2018,96(6),500-506.
13. Hoepfer MM, Lee SH, Voswinckel R, et al. Complications of right heart catheterization procedures in patients with pulmonary hypertension in experienced centers. *J Am Coll Cardiol*. 2006 Dec 19;48(12):2546-52.