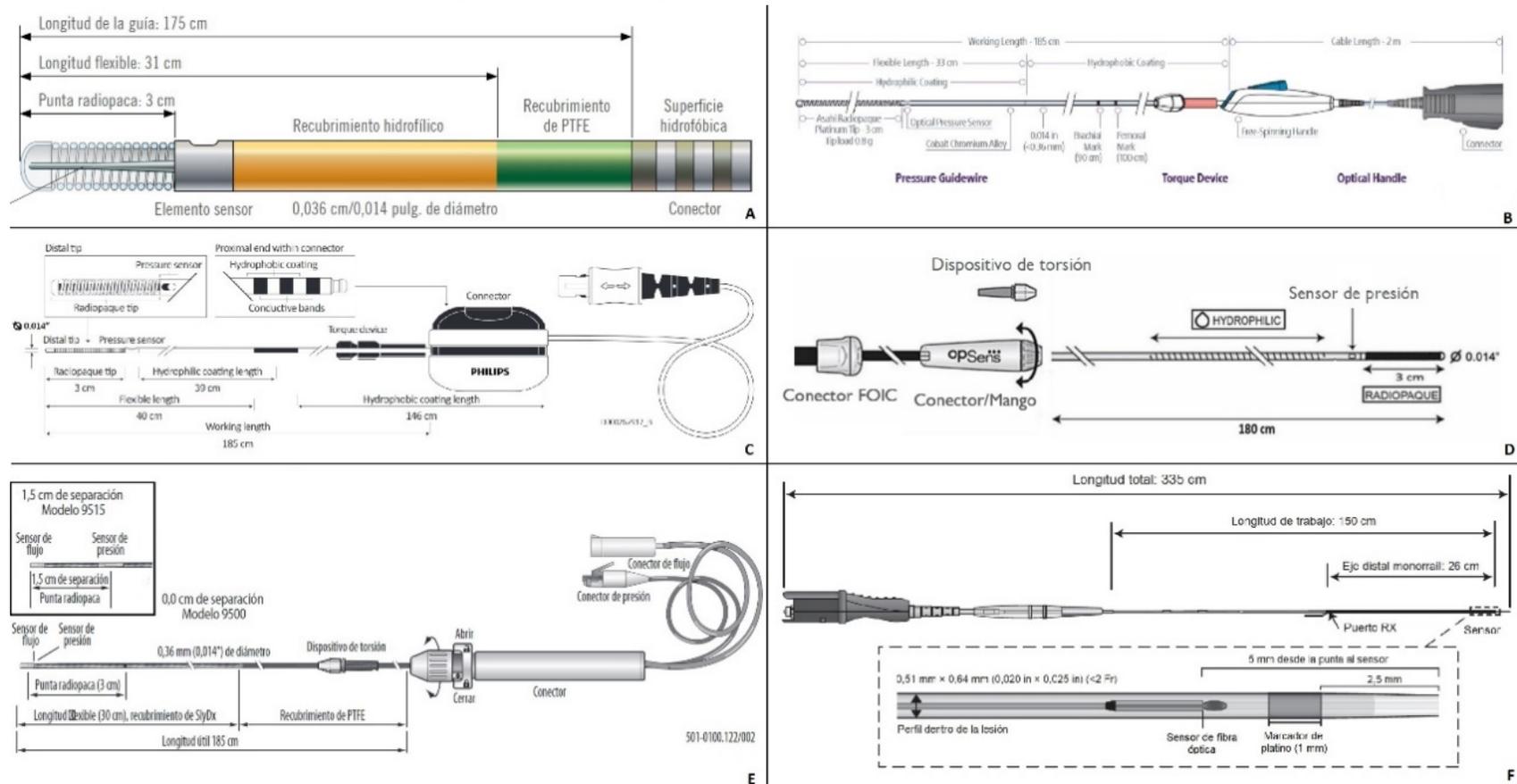


**MATERIAL ADICIONAL**

**VALORACIÓN FISIOLÓGICA DE LAS ESTENOSIS CORONARIAS**

**Guías de presión**

Son de guías de 0,014 pulgadas, con un transductor de presión en la zona de unión entre la punta radiopaca y el cuerpo de la guía. Todas ellas permiten la desconexión del transmisor para utilizarlas como guías de trabajo (figura 1 del material adicional).



**Figura 1 del material adicional.** Características técnicas de las diferentes guías de presión disponibles en el mercado. **A:** guía de presión PressureWire X. **B:** guía de presión Comet. **C:** guía de presión OmniWire. **D:** guía de presión OptoWire III. **E:** guía de presión ComboWire. **F:** catéter Navvus II.

PTFE: politetrafluoroetileno.

- **A. PressureWire X (Abbott Vascular, Estados Unidos).** Única guía con transmisor inalámbrico (5 m de alcance). Cuenta con sensores de presión y temperatura, lo que permite hacer mediciones tanto de presión como de flujo utilizando la técnica de termodilución. Así, se pueden calcular índices de presión FFR, RFR, de flujo (CFR, *coronary flow reserve*) y de resistencia al combinar presión y flujo: índice de resistencia microcirculatoria (IMR, *index of microcirculatory resistance*)<sup>1</sup>.
- **B. Comet (Boston Scientific, Estados Unidos).** Guía con sensor de presión óptico que permite medir FFR y DFR (*diastolic hyperemia-free ratio*). La unión al conector permite un giro libre de la guía para manipularla con facilidad<sup>2</sup>.
- **C. OmniWire (Philips, Estados Unidos).** Sensor de presión que permite medir FFR e iFR, y además permite realizar el corregistro de la retirada con la angiografía, localizando mejor los cambios de presión en la angiografía<sup>3</sup>.
- **D. OptoWire III (Opsens, Canadá).** Guía con sensor de presión óptico que permite medir FFR y dPR<sup>4</sup>.
- **E. ComboWire (Philips Volcano, Estados Unidos).** Guía con un transductor de presión montado cerca de la punta y un transductor de ultrasonido en la punta. Cuando se utiliza junto con un equipo de medida ComboMap, permite medir de forma simultánea la presión y la velocidad del flujo sanguíneo intracoronario<sup>5</sup>.
- **F. Navvus II (ACIST Medical Systems, Estados Unidos).** Es una alternativa diferente para la medición de la presión distal. Se trata de un microcatéter coaxial de un diámetro menor de 2 Fr, con un sensor de presión de fibra óptica que se puede avanzar sobre cualquier guía intracoronaria de 0,014 pulgadas. Se avanza una guía de trabajo a nivel distal y sobre ella el microcatéter para medir FFR y dPR. Se puede realizar la medición en retirada sin perder la posición de la guía

intracoronaria. Un metanálisis que valora estenosis individuales con la primera versión de este catéter muestra un sesgo sistemático sobreestimando la gravedad de las lesiones, mayor cuanto menor es FFR, reclasificando las lesiones en un 18% del total de los casos y hasta en un 23% en lesiones con FFR entre 0,60 y 0,90<sup>6</sup>.

### **Procedimientos paso a paso**

- **Catéter guía:** El tamaño del catéter guía se debe escoger en relación con el tamaño del *ostium* del vaso a investigar. Si se impide un adecuado flujo coronario puede detectarse por la ventricularización de la señal de Pa, que se hace evidente predominantemente durante la hiperemia. Este fenómeno aumentará falsamente el valor de FFR y, por lo tanto, subestimaré el grado de isquemia miocárdica<sup>7</sup>. No se recomienda usar catéteres con agujeros laterales, ya que puede aparecer un gradiente entre los agujeros laterales y la punta del catéter que se maximiza al realizar la FFR.
- **Anticoagulación:** Asegurarla antes de la inserción de la guía, igual que para una angioplastia, con heparina sódica ajustada al peso (70-100 UI/kg).
- **Hiperemia:** Es importante asegurar que no existe vasoespasmo epicárdico asociado, por lo que hay que administrar nitroglicerina intracoronaria (árbol izquierdo: 200-300 µg; coronaria derecha: 100-200 µg). La inducción de hiperemia máxima es esencial para la medición de la FFR, asegurando que la resistencia microvascular sea mínima y constante. El principal fármaco empleado es la adenosina, que tiene una vida media corta (30-60 segundos). Clásicamente se administra en infusión intravenosa a dosis de 140 µg/kg/min; se puede administrar por vía intracoronaria a dosis de 100-200 µg para la coronaria derecha y de 200-300 µg para la coronaria izquierda, siendo mejor tolerada, más rápida y económica<sup>7</sup>. Recientemente, un metanálisis que analizó 1.413 lesiones, con 1.972 mediciones individuales, mostró que no existen diferencias clínicamente relevantes entre ambos métodos<sup>8</sup>. El uso de adenosina en infusión es obligatorio cuando se van a realizar mediciones en retirada, ya que se necesita mantener la hiperemia durante más tiempo, y es recomendable en lesiones aorto-ostiales, aunque se puede administrar por vía intracoronaria y después decanularse.

***Guía de presión (índices de reposo, FFR)***

- 1) Sondar la arteria que se va a estudiar con catéter guía habitual, asegurarse de que no cae la presión aórtica con el sondaje.
- 2) Anticoagulación con heparina sódica (70-100 UI/kg).
- 3) Administrar 100-300 µg de nitroglicerina intracoronaria.
- 4) Efectuar el cero de la presión aórtica en el polígrafo de la sala y asegurar que todas las conexiones estén bien ajustadas.
- 5) Conectar y ecualizar la guía de presión a presión atmosférica.
- 6) Avanzar la guía hasta que el sensor esté localizado al mismo nivel que la punta del catéter guía.
- 7) Retirar el introductor de guía y lavar el catéter guía con solución salina.
- 8) Ecualizar/normalizar la presión de la guía con la del catéter en la consola, asegurando que ambas ondas de presión son iguales.
- 9) Avanzar la guía hasta unos 2-3 cm distal a la lesión o zona objeto de estudio.
- 10) Retirar nuevamente el introductor de guía (si fue necesario reintroducirlo) y lavar el catéter guía con solución salina.
- 11) En caso de índices de reposo, seleccionarlo en la consola y realizar la medición en este momento.
- 12) Para medir la FFR, cambiar el modo de la consola a FFR y administrar adenosina intracoronaria (200 µg para la coronaria izquierda, 100 µg para la coronaria derecha) o intravenosa (140 µg/kg/min). Al usar adenosina intracoronaria, considerar la FFR la menor relación Pd/Pa (cociente de presión coronaria

distal/aórtica) obtenida después de la inducción de la hiperemia (usualmente 15-20 segundos). Con adenosina intravenosa, esperar a obtener una hiperemia estable durante unos 90-180 segundos de infusión, y de igual forma obtener la menor relación Pd/Pa.

- 13) Para estudiar la distribución de las estenosis a lo largo del vaso, se pueden utilizar índices en reposo que permiten realizar retiradas, como iFR y RFR, o también se puede hacer con FFR si se utiliza una infusión continua de adenosina. Se realiza una retirada lenta de la guía manteniendo la hiperemia y observando simultáneamente la ubicación de la guía con fluoroscopia. En caso de lesiones difusas, se observará una recuperación progresiva de la presión a lo largo de todo el vaso. En caso de estenosis focales, se podrá observar un incremento brusco de la presión proximal a la lesión. Se puede confirmar el lugar exacto de la lesión moviendo la guía hacia delante y atrás en la zona de interés.
- 14) Confirmar la ausencia de pérdida de ecalización (*drift*) con el transductor de la guía en la posición inicial. Si el *drift* de presión es mayor de 2-5 mmHg, se recomienda volver a normalizar y repetir la medición.
- 15) Retirar la guía intracoronaria y realizar una angiografía para comprobar que no hay complicaciones.

### **Problemas, causas y soluciones**

Existen detalles del procedimiento que hay que tener en cuenta para obtener una medición lo más fiable posible. Hay que asegurarse de que todas las conexiones están bien realizadas y de que se retira el introductor de guía al realizar mediciones, ya que puede ocasionar que la presión aórtica esté falsamente disminuida. Se debe lavar el catéter guía con solución salina para evitar que la presión aórtica se vea amortiguada. Además, hay que asegurarse de que en el momento de la adquisición no existan variaciones relacionadas con la respiración, tos ni arritmias.

La amortiguación de la presión aórtica por el catéter guía puede ocurrir con catéteres de mayor diámetro (7-8 Fr), en presencia de lesiones ostiales o con vasos epicárdicos de pequeño calibre. En tales casos se recomienda que el catéter guía esté fuera de la coronaria para obtener una medición real de la presión aórtica, tanto en el momento de la ecualización de las presiones como en el de la medición.

Los catéteres con agujeros laterales pueden ocasionar un gradiente de presión entre la aorta y el catéter, que puede no objetivarse hasta que se induce la hiperemia. En caso de que sea necesario utilizarlos, es indispensable desenganchar el catéter de la coronaria al realizar las mediciones. Cuando se utilicen estos catéteres no se debe administrar adenosina intracoronaria, dado que parte de la dosis se iría directamente a la aorta.

Se puede sospechar la presencia de *drift* cuando, aunque existan diferencias de presión entre la medición proximal y la distal, la forma de la onda distal mantenga su hendidura dicrota, ya que las estenosis significativas actúan como un filtro de alta frecuencia, dificultando la transmisión de las señales causantes

de la presencia de esta hendidura. El *drift* es más frecuente después de desconectar/reconectar la guía, en especial tras la angioplastia, o después de un uso prolongado; las guías con tecnología de fibra óptica y los catéteres tienen menos *drift* que las que utilizan un sistema piezoeléctrico.

Espasmo y pseudoestenosis: el paso de cualquier guía intracoronaria puede generar un espasmo coronario, por lo que es importante la administración intracoronaria de nitroglicerina; incluso en pacientes con tensiones bajas, ya que una dosis baja de nitroglicerina (50-100 µg) se tolera adecuadamente. El paso de la guía puede rectificar arterias tortuosas, generando el conocido «efecto acordeón», que ocasionaría una medición falsamente alterada, por lo que resulta importante realizar una angiografía con la guía pasada en arterias tortuosas y compararla con la angiografía sin guía; en estos casos no se puede obtener una medición fiable de la presión distal.

Efecto de la presión hidrostática: al realizar la medición de la presión se asume que los transductores están a la misma altura del corazón, cosa que sucede al realizar la ecualización, pero al realizar mediciones en la circunfleja distal o en la coronaria derecha distal existe cierta presión hidrostática que podría incrementar la medición de la Pd/Pa en 0,01-0,04 puntos; esto es especialmente evidente en arterias sin estenosis.

Efecto de la presión venosa central (Pv): de forma práctica se considera que la presión venosa es despreciable, por lo que la fórmula original de la FFR ( $Pd - Pv / Pa - Pv$ ) se simplifica en Pd/Pa. El incremento de la Pv ocasiona que disminuya la FFR. Sin embargo, y dado que los estudios se han realizado ignorando el efecto de la Pv, no es necesaria su medición en casos de angina estable. Se podría considerar de valor en pacientes con insuficiencia cardíaca o hipotensos, en los que la influencia de la Pv es mayor.

Limitaciones de los métodos para inducir hiperemia: las metilxantinas, como la cafeína, la teobromina (chocolate) y la teofilina son antagonistas competitivos del receptor de adenosina, por lo que se recomienda no ingerirlos 24 horas antes de un estudio en el que se vaya a utilizar adenosina para obtener una

adecuada respuesta hiperémica. La administración de adenosina intracoronaria o una infusión de dosis más altas de adenosina (210 µg/kg/min) pueden disminuir, al menos parcialmente, el efecto de la cafeína; la tolerancia a dosis mayores de adenosina es menor, con aparición de más efectos adversos<sup>9</sup>.

### **Escenarios específicos**

- **Enfermedad coronaria difusa:** realizar una retirada continua a una velocidad de  $\pm 1$  mm/s de la guía de presión de distal a proximal puede ayudar a identificar un área focal de estenosis (incremento abrupto de la presión) o la presencia de aterosclerosis difusa, donde la recuperación de la presión es gradual a lo largo de toda la arteria. Esta información ayuda a determinar la utilidad de la angioplastia. En algunos casos se puede encontrar una lesión focal superpuesta a la estenosis difusa que merece ser tratada. Una forma objetiva para cuantificar la afectación espacial es el índice de gradiente de presión en retirada (PPG, *pullback pressure gradient*), basado en la medición de la máxima pérdida de FFR en 20 mm de vaso y la longitud del segmento coronario epicárdico con deterioro de la FFR. Se trata de una medida continua en la que los valores cercanos a 1,0 representan lesiones focales, y los valores cercanos a 0, afectación difusa<sup>10</sup>. Aunque el desarrollo de la técnica se hizo con retirada automática de la guía, recientemente se ha demostrado su factibilidad con una retirada manual<sup>11</sup>.
- **Lesiones ostiales:** es útil para evaluar lesiones aorto-ostiales, principalmente ramas laterales enjauladas, difíciles de evaluar con angiografía. En un estudio de 94 lesiones en ramas enjauladas, solo el 27% de las lesiones con estenosis de más del 75% por QCA fueron significativas por FFR, y ninguna lesión con estenosis menor del 75% presentó FFR  $< 0,75$ <sup>12</sup>. En las lesiones aorto-ostiales es importante retirar el catéter guía del *ostium*, tanto para la ecualización como para las mediciones, para evitar que el catéter impida el flujo coronario.
- **Estenosis aórtica:** muchos pacientes con estenosis aórtica tienen a su vez EC. La estenosis aórtica grave genera resistencias microvasculares aumentadas y una reserva vasodilatadora disminuida, lo que puede afectar a las mediciones de FFR. En pacientes en quienes se estudió la FFR antes y después de un implante

percutáneo de válvula aórtica (TAVI) con adenosina intracoronaria solo se observaron cambios menores en los valores de FFR, lo que sugiere la seguridad y la validez del estudio con FFR de estos pacientes. La actitud a seguir cambia en aproximadamente el 15% de los pacientes, en especial en lesiones intermedias por angiografía<sup>13</sup>.

- **Síndrome coronario agudo (SCA):** después de un infarto agudo, la capacidad predictiva de la FFR tiene algunas limitaciones teóricas. Debido a la afectación microvascular, la respuesta a los estímulos hiperémicos es variable, se reduce el flujo a través de la estenosis y aumenta la FFR. En el contexto de un IAMCEST, al estudiar una lesión no culpable, una FFR baja indica una estenosis significativa; aunque una FFR normal puede no ser definitiva, la probabilidad de que se trate de una lesión grave con FFR > 0,80 es baja<sup>14</sup>. En el estudio FAME, los pacientes con angina inestable o IAMSEST en quienes la revascularización se realizó guiada por FFR presentaron una reducción relativa del riesgo de eventos cardiovasculares mayores del 19% respecto a la revascularización guiada por angiografía, con un beneficio similar al de los pacientes con angina estable (reducción absoluta del riesgo del 5,1% frente al 3,7%; p = 0,92), y una reducción de la necesidad de *stents* implantados<sup>15</sup>.

Numerosos estudios han demostrado que revascularizar los vasos no culpables en pacientes que han tenido un IAMCEST reduce los eventos adversos, y el uso de guía de presión disminuye el número de revascularizaciones en el seguimiento (12,5% frente a 25,2%; HR = 0,45; IC95%, 0,31-0,64; p < 0,001), además de reducir el número de *stents* implantados, con el consiguiente beneficio económico<sup>16</sup>.

La isquemia miocárdica induce disfunción microvascular no solo en el territorio irrigado por la arteria culpable<sup>17</sup>, lo que puede llevar a la medición de una FFR falsa negativa. El punto de corte de la FFR en pacientes con SCA es un tema de discusión; el estudio de Hakeem et al.<sup>18</sup> mostró que los pacientes con FFR menor de 0,85 tenían un mayor número de eventos adversos. Haga clic o pulse aquí para escribir texto.. El iFR en el seguimiento, si la medición se realiza después de 16 días, es significativamente mayor que en el momento agudo (+0,03;  $p \leq 0,001$ )<sup>19</sup>. Lo contrario sucede con la evolución de la FFR: 1 mes después de un IAMCEST se observa una disminución significativa de la FFR (-0,03;  $p = 0,001$ ), con un iFR estable (+0,012;  $p = 0,12$ ), en probable relación con un incremento de la resistencia microvascular hiperémica<sup>20</sup>, lo que sugiere que los índices no hiperémicos son una mejor opción en el contexto del SCA.

Un análisis de datos individuales de 5 grandes estudios (8.579 pacientes) muestra que, en comparación con la angina estable, la seguridad de diferir la revascularización en SCA con FFR es menor; sin embargo, el tratamiento parece no disminuir el número de eventos mayores<sup>21</sup>. Un estudio realizado en pacientes con IAMCEST y enfermedad multivaso en los que se evaluaron las lesiones no culpables con FFR evidenció un mayor número de eventos en aquellos en que se difirió la revascularización basada en  $FFR > 0,80$ , en comparación con los que se revascularizaron basándose en la angiografía<sup>22</sup>. Estos resultados ejemplifican la complejidad diagnóstica en el escenario del SCA.

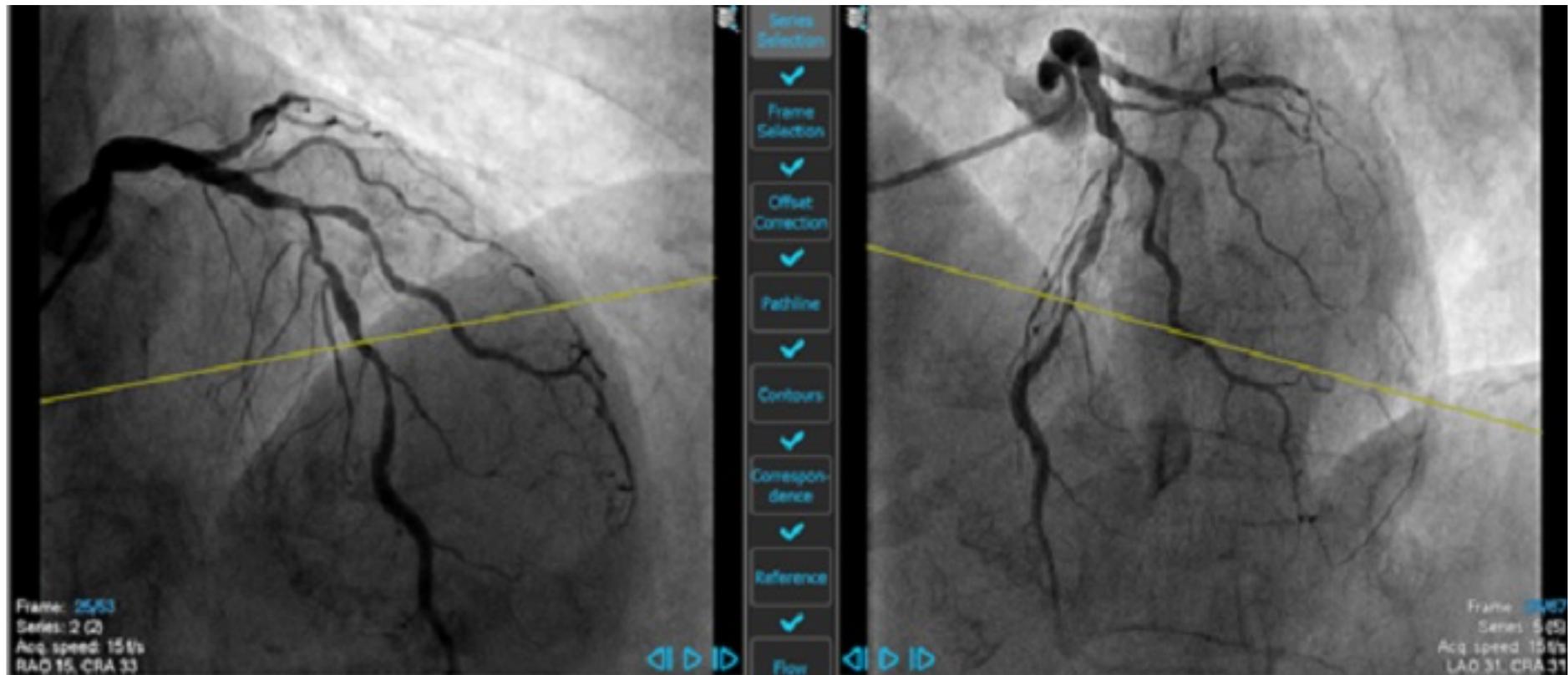
- **Medición posterior a la angioplastia coronaria:** la realización de FFR tras el procedimiento ha demostrado una correlación entre resultados subóptimos, enfermedad residual y pronóstico<sup>23</sup>. Dos estudios, FFR SEARCH (*Fractional Flow Reserve–Stent Evaluated at Rotterdam Cardiology Hospital*)<sup>24</sup> y Target FFR (*An Evaluation of a Physiology-Guided PCI Optimisation Strategy*)<sup>25</sup> mostraron que hasta el 68% de los pacientes a quienes se ha tratado una lesión coronaria persisten con alguna lesión con  $FFR \leq 0,90$ , y un 11% presentan lesiones con  $FFR \leq 0,80$ . Existe una relación inversa, continua e independiente entre la FFR

posterior al procedimiento y la aparición de eventos (HR = 0,86; IC95%, 0,80-0,93;  $p < 0,001$ )<sup>26</sup>. La FFR óptima posterior al procedimiento para disminuir los eventos debería ser mayor de 0,85<sup>23</sup>. En cuanto a los índices de reposo, una relación Pd/Pa > 0,96 se relaciona con una FFR > 0,86 y con una menor tasa de eventos adversos<sup>27</sup>. El resultado fisiológico depende de varios factores, incluyendo la longitud y el diámetro de los *stents*, así como la afectación de la arteria descendente anterior. En el caso de los índices de reposo, el estudio DEFINE-PCI (*Physiologic Assessment of Coronary Stenosis Following PCI*) mostró que el 24% de los pacientes tenían isquemia residual (iFR  $\leq 0,89$ ) después de una angioplastia exitosa, con un 81,6% de los casos atribuibles a lesiones focales angiográficamente no visibles. Un iFR  $\geq 0,95$  posterior al procedimiento se asoció con una mejor supervivencia libre de eventos al año y una mayor reducción de los síntomas anginosos<sup>28</sup>, demostrando la importancia de evaluar los resultados del procedimiento con fisiología.

### ***Índices derivados de la angiografía. Manejo práctico (QFR, FFRAngio, vFFR)***

Los distintos sistemas para el estudio no invasivo de la FFR comparten muchas similitudes en la práctica. Para simplificar, y a modo de ejemplo, presentamos los pasos que hay que seguir para la evaluación funcional de una lesión epicárdica mediante QFR, ya que es la tecnología más ampliamente estudiada en la literatura.

Tras la administración de nitratos intracoronarios, se adquieren dos proyecciones angiográficas separadas al menos 25°, en las que la estenosis en estudio se visualice sin superposición de estructuras ni acortamiento. Se escogerán *frames* telediastólicos donde el contraste haya rellenado la arteria por completo y se pueda definir el contorno (figura 2 del material adicional).



**Figura 2 del material adicional.** Dos proyecciones que muestran la lesión en la descendente anterior media con diferentes ángulos, con la arteria bien rellena.

Se determinan puntos anatómicos de inicio, fin y referencia en ambas proyecciones, y se dibuja el contorno de forma automática, pudiendo ser corregido manualmente si se requiere (figura 3 del material adicional, punto 2).



**Figura 3 del material adicional.** Tazado automático del contorno de la arteria descendente anterior. El punto 2 muestra dónde se necesita hacer una corrección manual del trazado.

Posteriormente se debe comprobar la correspondencia de los diámetros arteriales en ambas proyecciones (salvo en lesiones excéntricas) y se establecen los límites de la lesión (figura 4 y figura 5 del material adicional).

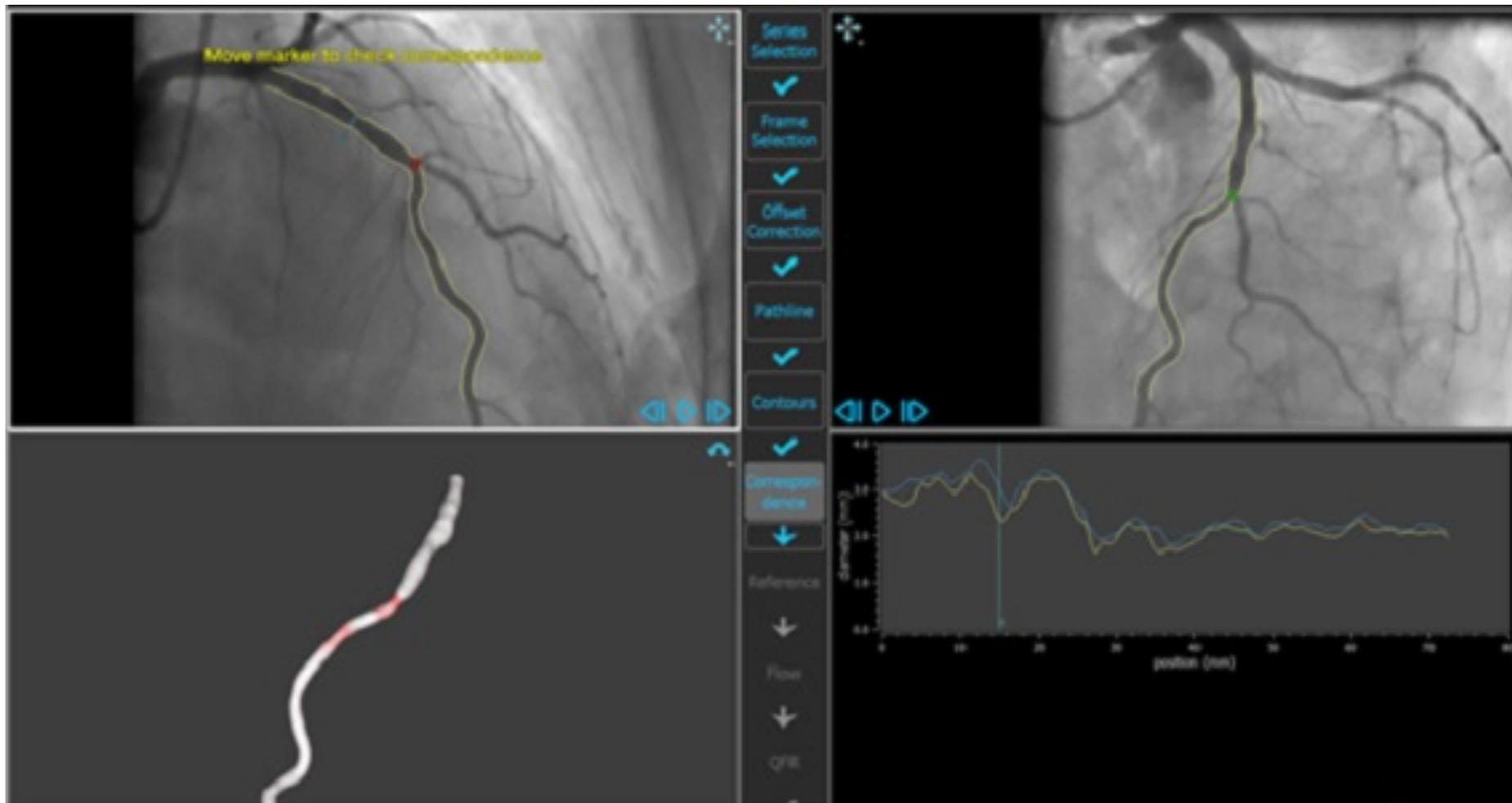


Figura 4 del material adicional. Determinación de los límites de la lesión y comprobación de los diámetros en ambas proyecciones.

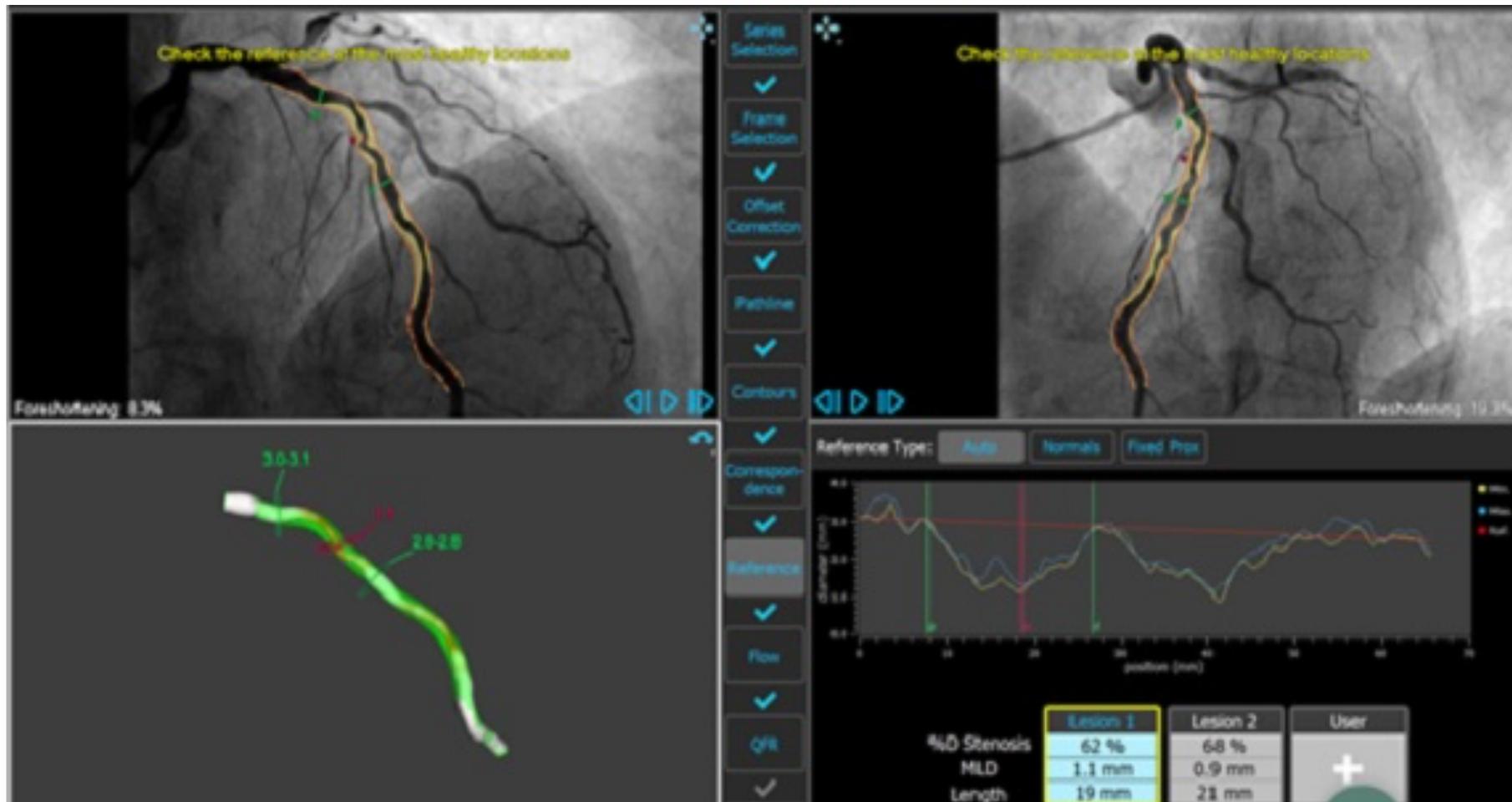


Figura 5 del material adicional. Resultado anatómico del trazado.

Finalmente, el sistema ofrece la opción de escoger el modelo de estimación de flujo (figura 6 del material adicional).

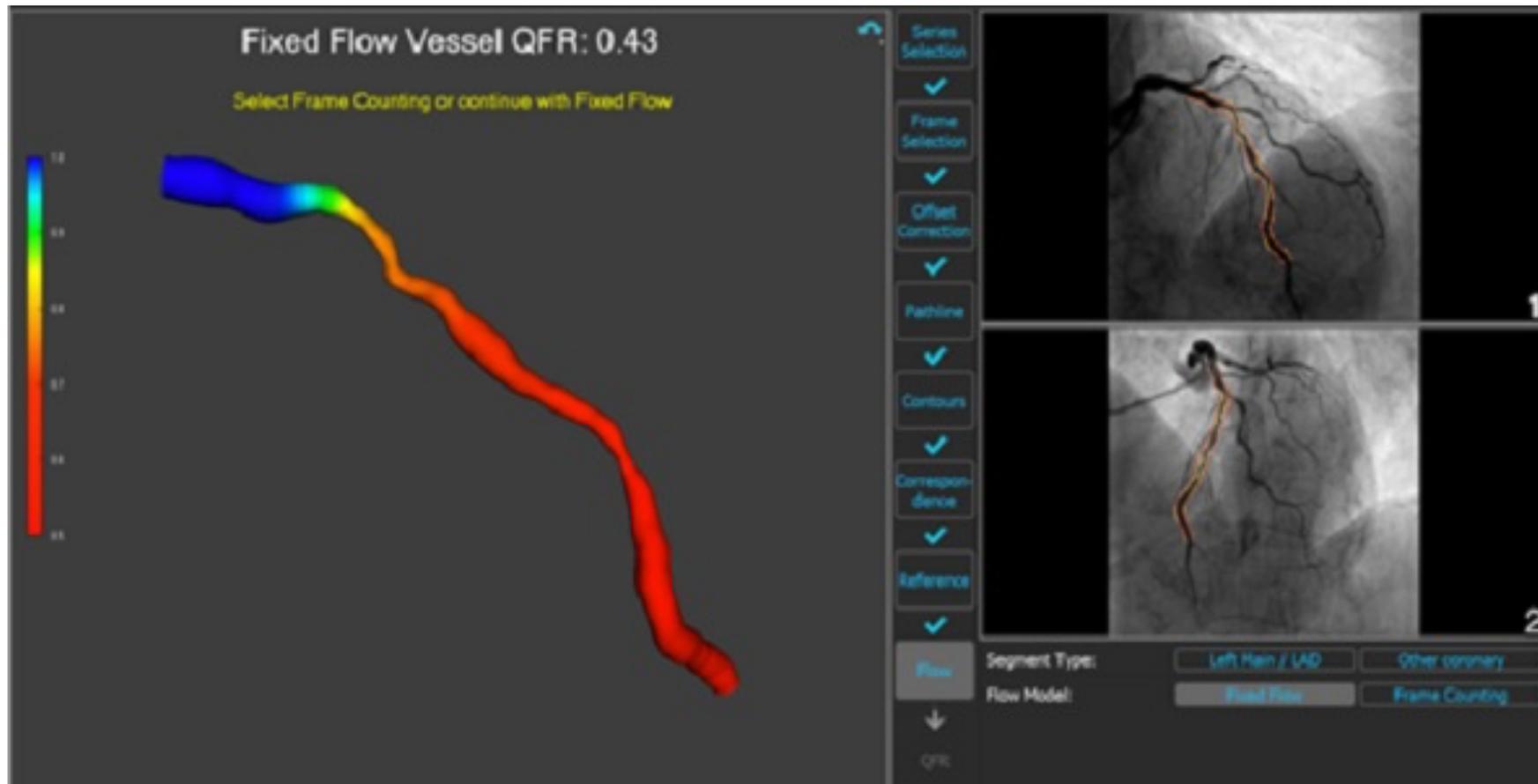


Figura 6 del material adicional. Resultado provisional; se puede elegir aquí el modo de estimación de flujo.

Una vez completados los pasos, se abre un informe en el que se localiza el valor de QFR, así como las referencias en diámetro y longitud de la/las estenosis a evaluar.

## **VALORACIÓN FISIOLÓGICA DE LA MICROCIRCULACIÓN CORONARIA**

### ***Índices invasivos***

#### *Termodilución*

#### Bolos (CFR, IMR)

- 1) Sondar la arteria a estudiar con un catéter guía habitual (6 Fr), asegurando que no caiga la presión aórtica con el sondaje.
- 2) Anticoagular con heparina sódica a dosis de 70-100 UI/kg.
- 3) Administrar 100-300 µg de nitroglicerina intracoronaria.
- 4) Realizar el cero de la presión aórtica, activar la consola CoroFlow (Coroventis Cardiovascular System, Suecia) para conectar la guía PressureWire X y encender el transmisor de la guía.
- 5) Avanzar la guía hasta que el sensor de presión esté localizado al mismo nivel que la punta del catéter guía.
- 6) Retirar el introductor de guía y lavar el catéter guía con solución salina.
- 7) Ecuilibrar la presión de la guía con la del catéter en la consola, asegurando que ambas ondas de presión sean iguales.

- 8) Avanzar la guía hasta el tercio distal de la arteria que se va a estudiar.
- 9) Retirar nuevamente el introductor de guía y lavar el catéter guía con solución salina.
- 10) Cambiar a modo CFR/IMR en la consola CoroFlow.
- 11) Administrar un bolo de 3 ml de solución salina fisiológica con jeringa *Luer-lock* (5-10 ml) a temperatura ambiente a través del catéter guía, cerrando rápidamente la llave lateral. Repetir dos veces más el bolo según las indicaciones de la consola CoroFlow, asegurando que las 3 mediciones del tiempo de tránsito medio no presenten una variación mayor de  $\pm 10\%$  entre ellas.
- 12) Iniciar la infusión intravenosa de adenosina a dosis de  $140 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  y esperar 2 min para lograr una hiperemia estable.
- 13) Realizar nuevamente 3 inyecciones de solución salina a temperatura ambiente como en el paso 12.
- 14) Los valores de FFR, IMR y CFR los calcula automáticamente la consola CoroFlow.
- 15) Retirar la guía intracoronaria y realizar una angiografía para comprobar la ausencia de complicaciones.

Continua (flujo y resistencia absoluta)

Este sistema requiere una bomba de infusión continua, que permite infundir solución salina hasta 30 ml/min y facilita los cálculos con el sistema CoroFlow (Coroventis Cardiovascular System, Suecia), el cual cuenta con un receptor que capta la señal de la guía de presión PressureWire X. Una resistencia microvascular por encima de  $500 \text{ mmHg}\cdot\text{l}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  (unidades Wood, UW) medida a nivel proximal de la descendente anterior predice adecuadamente la presencia de disfunción microvascular<sup>29</sup>.

- 1) Colocar la guía PressureWire X como se describe en los puntos 1 a 8 de la sección anterior.
- 2) Desconectar el transmisor de la guía PressureWire X sin apagarlo.
- 3) Conectar el extremo proximal del catéter RayFlow a la alargadera de la bomba de infusión. Purgar el catéter hasta que salgan cuatro chorros por su extremo distal.
- 4) Introducir el extremo distal de la guía en el monorraíl del catéter RayFlow.
- 5) Conectar de nuevo el transmisor de la guía.
- 6) Avanzar el catéter RayFlow sobre la guía hasta el segmento proximal de la arteria descendente anterior manteniendo la punta de la guía donde se encontraba previamente. El sensor de la guía debe situarse al menos 50 mm distal al punto radiopaco del microcatéter.
- 7) Seleccionar el modo Abs en la consola CoroFlow. Efectuar el cero de temperatura.
- 8) Iniciar la grabación en CoroFlow (REC).

- 9) Iniciar la infusión de solución salina a temperatura ambiente con la bomba a 15-25 ml/min ( $P_{\max} < 600$  PSI) hasta obtener un descenso de temperatura estable (30-60 s). Es necesario indicar la velocidad de infusión de la solución salina en la consola.
- 10) Retirar a velocidad constante la guía hasta introducir el sensor de temperatura dentro del microcatéter, con lo que se obtiene la temperatura a la que la solución salina llega a la punta del catéter.
- 11) Parar la infusión de solución salina y esperar a la recuperación de la temperatura basal en la curva ( $T = 0$ ).
- 12) Detener la grabación (STOP), con lo que se obtiene la medición automática de la resistencia absoluta ( $R_{\text{abs}}$ ), el flujo absoluto ( $Q_{\text{abs}}$ ) y la FFR. Hay que asegurarse de que en la consola esté puesta la velocidad de infusión de la solución salina a la que se ha trabajado.
- 13) Adicionalmente se pueden hacer las mismas mediciones con un flujo de infusión de 5-10 ml/min, lo que permite calcular el flujo coronario absoluto en reposo, con lo cual se puede calcular la reserva coronaria de flujo. Hay que realizar esta medición distal en la arteria y en la punta del microcatéter.  
Para poder hacer el cálculo hay que especificar la velocidad de infusión en la consola.
- 14) Retirar la guía intracoronaria y realizar una angiografía para comprobar la ausencia de complicaciones.

*Doppler (CFR, hMR)*

- 1) Seguir los pasos 1 a 3 como se describe para realizar la termodilución en bolos.
- 2) Efectuar el cero de la presión aórtica.
- 3) Conectar la guía ComboWire a la consola ComboMap y progresarla hasta que el sensor de presión esté en la punta del catéter guía.
- 4) Retirar el introductor de la guía y lavar el catéter guía con solución salina.
- 5) Ecuilibrar la presión de la guía con la del catéter en la consola, asegurando que ambas ondas de presión sean iguales.
- 6) Avanzar la guía hasta el tercio distal de la arteria a estudiar, asegurando una adecuada onda Doppler en la consola, para lo que se necesita que el sensor esté coaxial al flujo y la guía muy estable.
- 7) Optimizar la relación señal/ruido en la consola, modificando el límite del pico de velocidad instantáneo. En la mayoría de los casos, con la opción de autoajuste se logra un buen resultado.
- 8) Medir la velocidad de flujo y la relación de presiones basales en la consola.
- 9) Administrar adenosina en infusión o intracoronaria, y medir FFR, CFR y la resistencia cardiovascular hiperémica (hMR).
- 10) Retirar la guía intracoronaria y realizar una angiografía para comprobar la ausencia de complicaciones.

***Índices derivados de la angiografía. Manejo práctico (IMRAngio)***

A efectos de manejo práctico, cabe destacar la sencillez de su determinación si se tiene acceso y formación con los *software* ya evaluados (QAngio de Medis o FlashAngio de Rainmed), así como con las angiografías y los datos de presión arterial. Actualmente existen varias fórmulas para su cálculo que varían según el grupo de estudio y el *software* utilizado, con las cuales se puede obtener el valor en escasos minutos tras hacer la angiografía, siguiendo los pasos previamente reportados para la obtención de QFR o angio-FFR y completando la fórmula con los datos necesarios.

No obstante, en la actualidad la determinación de IMRAngio no se hace sistemáticamente en la práctica clínica, si bien es previsible una aceptación paulatina, debido a su sencillez, la seguridad del procedimiento y los datos obtenidos en los estudios antes comentados.

## BIBLIOGRAFÍA DEL MATERIAL ADICIONAL

1. Guía PressureWire™ X. 2016. Disponible en: <https://www.cardiovascular.abbott/us/en/hcp/products/percutaneous-coronary-intervention/pressurewireX-guidewires-physiology/about.html>. Consultado 22 Mar 2022.
2. Comet Pressure Guidewire - Boston Scientific. Disponible en: <https://www.bostonscientific.com/en-EU/products/imaging-systems/comet-II-pressure-guidewire.html>. Consultado 28 Mar 2022.
3. OmniWire Pressure guide wire. Disponible en: [www.philips.com/IGTdevices](http://www.philips.com/IGTdevices). Consultado 16 Feb 2022.
4. Ficha técnica OptoWire™ III - OpSens. Disponible en: <https://opsensmedical.com/products/optowire/>. Consultado 22 Mar 2022.
5. Volcano. Instrucciones de uso ComboWire. 2019. Disponible en: [https://www.documents.philips.com/assets/Instruction%20for%20Use/20171229/9ff11cb5bfd542fa825ca85801439482.pdf?feed=ifu\\_docs\\_feed](https://www.documents.philips.com/assets/Instruction%20for%20Use/20171229/9ff11cb5bfd542fa825ca85801439482.pdf?feed=ifu_docs_feed). Consultado 22 Feb 2022
6. Seligman H, Shun-Shin MJ, Vasireddy A, et al. Fractional flow reserve derived from microcatheters versus standard pressure wires: a stenosis-level meta-analysis. *Open Heart*. 2019;6:e000971.
7. Toth GG, Johnson NP, Jeremias A, et al. Standardization of Fractional Flow Reserve Measurements. *J Am Coll Cardiol*. 2016;68:742-753.
8. Wijntjens GWM, van Uffelen EL, Echavarría-Pinto M, et al. Individual Lesion-Level Meta-Analysis Comparing Various Doses of Intracoronary Bolus Injection of Adenosine with Intravenous Administration of Adenosine for Fractional Flow Reserve Assessment. *Circ Cardiovasc Interv*. 2020;13:e007893.
9. Nakayama M, Chikamori T, Uchiyama T, et al. Effects of caffeine on fractional flow reserve values measured using intravenous adenosine triphosphate. *Cardiovasc Interv Ther*. 2018;33:116-124.
10. Collet C, Sonck J, Vandeloos B, et al. Measurement of Hyperemic Pullback Pressure Gradients to Characterize Patterns of Coronary Atherosclerosis. *J Am Coll Cardiol*. 2019;74:1772-1784.
11. Sonck J, Mizukami T, Johnson NP, et al. Development, validation, and reproducibility of the pullback pressure gradient (PPG) derived from manual fractional flow reserve pullbacks. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2022;99:1518-1525.
12. Koo BK, Kang HJ, Youn TJ, et al. Physiologic Assessment of Jailed Side Branch Lesions Using Fractional Flow Reserve. *J Am Coll Cardiol*. 2005;46:633-637.
13. Pesarini G, Scarsini R, Zivelonghi C, et al. Functional Assessment of Coronary Artery Disease in Patients Undergoing Transcatheter Aortic Valve Implantation: Influence of Pressure Overload on the Evaluation of Lesions Severity. *Circ Cardiovasc Interv*. 2016;9:e004088.

14. Ntalianis A, Sels JW, Davidavicius G, et al. Fractional flow reserve for the assessment of nonculprit coronary artery stenoses in patients with acute myocardial infarction. *JACC Cardiovasc Interv.* 2010;3:1274-1281.
15. Sels JWEM, Tonino PAL, Siebert U, et al. Fractional flow reserve in unstable angina and non-ST-segment elevation myocardial infarction experience from the FAME (Fractional flow reserve versus Angiography for Multivessel Evaluation) study. *JACC Cardiovasc Interv.* 2011;4:1183-1189.
16. Zhao L, Guo W, Huang W, et al. Comparative Effectiveness of Complete Revascularization Strategies in Patients with ST-Segment Elevation Myocardial Infarction and Multivessel Disease: A Bayesian Network Meta-Analysis. *Front Cardiovasc Med.* 2021;8:724274.
17. Uren NG, Crake T, Lefroy DC, de Silva R, Davies GJ, Maseri A. Reduced Coronary Vasodilator Function in Infarcted and Normal Myocardium after Myocardial Infarction. *N Engl J Med.* 1994;331:222-227.
18. Hakeem A, Edupuganti MM, Almomani A, et al. Long-Term Prognosis of Deferred Acute Coronary Syndrome Lesions Based on Nonischemic Fractional Flow Reserve. *J Am Coll Cardiol.* 2016;68:1181-1191.
19. Thim T, Götberg M, Fröbert O, et al. Nonculprit Stenosis Evaluation Using Instantaneous Wave-Free Ratio in Patients With ST-Segment Elevation Myocardial Infarction. *JACC Cardiovasc Interv.* 2017;10:2528-2535.
20. van der Hoeven NW, Janssens GN, de Waard GA, et al. Temporal Changes in Coronary Hyperemic and Resting Hemodynamic Indices in Nonculprit Vessels of Patients With ST-Segment Elevation Myocardial Infarction. *JAMA Cardiol.* 2019;4:736-744.
21. Cerrato E, Mejía-Rentería H, Dehbi HM, et al. Revascularization Deferral of Nonculprit Stenoses on the Basis of Fractional Flow Reserve: 1-Year Outcomes of 8,579 Patients. *JACC Cardiovasc Interv.* 2020;13:1894-1903.
22. Denormandie P, Simon T, Cayla G, et al. Compared Outcomes of ST-Segment–Elevation Myocardial Infarction Patients With Multivessel Disease Treated With Primary Percutaneous Coronary Intervention and Preserved Fractional Flow Reserve of Nonculprit Lesions Treated Conservatively and of Those With Low Fractional Flow Reserve Managed Invasively: Insights From the FLOWER-MI Trial. *Circ Cardiovasc Interv.* 2021;14:e011314.
23. van Zandvoort LJC, Ali Z, Kern M, van Mieghem NM, Mintz GS, Daemen J. Improving PCI Outcomes Using Postprocedural Physiology and Intravascular Imaging. *JACC Cardiovasc Interv.* 2021;14:2415-2430.
24. van Bommel RJ, Masdjedi K, Diletti R, et al. Routine Fractional Flow Reserve Measurement After Percutaneous Coronary Intervention. *Circ Cardiovasc Interv.* 2019;12:e007428.

25. Collison D, Didagelos M, Aetesam-ur-Rahman M, et al. Post-stenting fractional flow reserve vs coronary angiography for optimization of percutaneous coronary intervention (TARGET-FFR). *Eur Heart J.* 2021;42:4656-4668.
26. Johnson NP, Tóth GG, Lai D, et al. Prognostic value of fractional flow reserve: linking physiologic severity to clinical outcomes. *J Am Coll Cardiol.* 2014;64:1641-1654.
27. Hakeem A, Ghosh B, Shah K, et al. Incremental Prognostic Value of Post-Intervention Pd/Pa in Patients Undergoing Ischemia-Driven Percutaneous Coronary Intervention. *JACC Cardiovasc Interv.* 2019;12:2002-2014.
28. Patel MR, Jeremias A, Maehara A, et al. 1-Year Outcomes of Blinded Physiological Assessment of Residual Ischemia After Successful PCI: DEFINE PCI Trial. *JACC Cardiovasc Interv.* 2022;15:52-61.
29. Rivero F, Gutiérrez-Barrios A, Gomez-Lara J, et al. Coronary microvascular dysfunction assessed by continuous intracoronary thermodilution: A comparative study with index of microvascular resistance. *Int J Cardiol.* 2021;333:1-7.