



El Método de los Puntos Más Remotos para la Selección de Sitios de la Futura Red GGOS

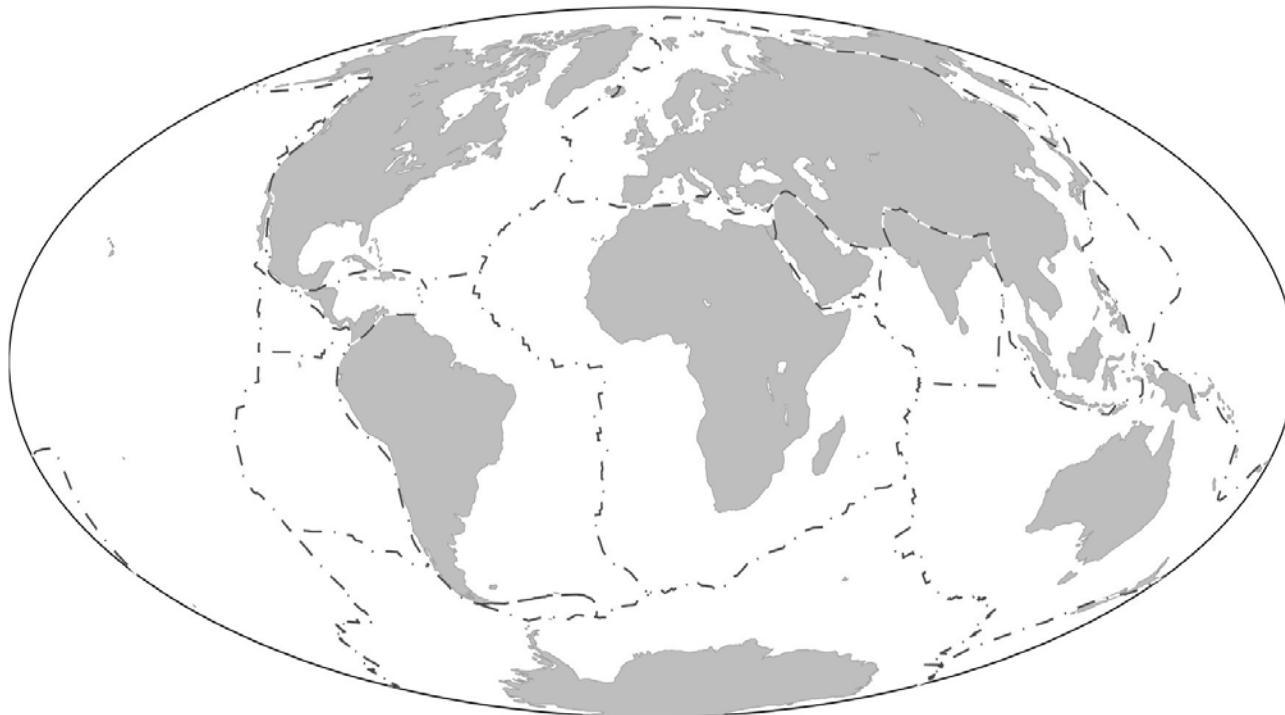
Hayo Hase, TIGO-Project, Bundesamt für Kartographie und Geodäsie

Felipe Pedreros, Icecube-Project, University of Wisconsin, Madison



Global Geodetic Observing System (GGOS)

- 30-40 observatorios geodésicos como infraestructura global para el más preciso marco de referencia.
- Con el objetivo de unificar de sistemas de referencia geométricos y geofísicos.
- Realización de un error de posición $3D \leq 1\text{mm}$, error de velocidad $\leq 0.1\text{mm/y}$





Búsqueda de Sitios para el sistema GGOS

Caso Ideal

- **Una sola organización** a cargo de instalar, operar y mantener 40 nuevos observatorios geodésicos GGOS en los 7 continentes e islas.
-



Búsqueda de Sitios para el sistema GGOS

Caso Ideal

- **Una sola organización** a cargo de instalar, operar y mantener 40 nuevos observatorios geodésicos GGOS en los 7 continentes e islas.

Caso Real

- **Algunas instituciones** de países individuales instalan, operan y mantienen observatorios geodésicos siguiendo sus propios **intereses nacionales**.
 - Áreas descubiertas necesitan de proyectos conjuntos para complementar la red existente (siguiendo también intereses nacionales).
-



Búsqueda de Sitios para el sistema GGOS

Caso Ideal

- **Una sola organización** a cargo de instalar, operar y mantener 40 nuevos observatorios geodésicos GGOS en los 7 continentes e islas.

-
- Selección de sitios **es realizada** desde una perspectiva global.

Caso Real

- **Algunas instituciones** de países individuales instalan, operan y mantienen observatorios geodésicos siguiendo sus propios **intereses nacionales**.
 - Áreas descubiertas necesitan de proyectos conjuntos para complementar la red existente (siguiendo también intereses nacionales).
-
- Selección de sitios adicionales **puede ser realizada** desde una perspectiva global.



Búsqueda de Sitios para el sistema GGOS

Caso Ideal

- **Una sola organización** a cargo de instalar, operar y mantener 40 nuevos observatorios geodésicos GGOS en los 7 continentes e islas.

- Selección de sitios **es realizada** desde una perspectiva global.

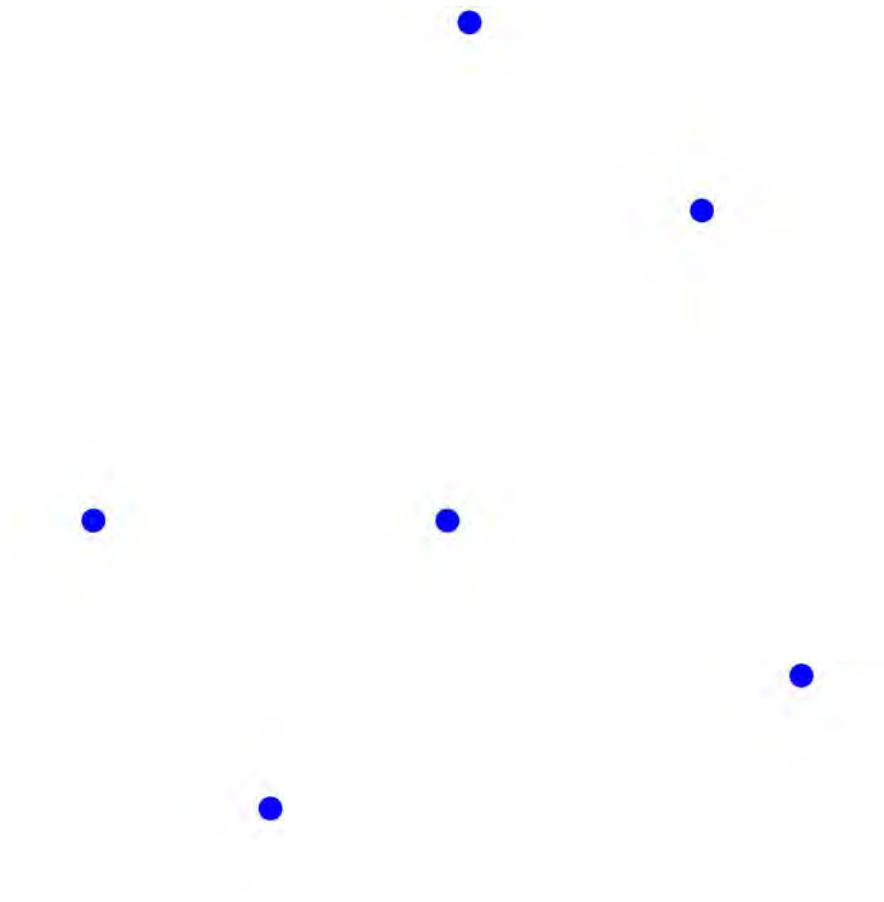
Caso Real

- **Algunas instituciones** de países individuales instalan, operan y mantienen observatorios geodésicos siguiendo sus propios **intereses nacionales**.
- Áreas descubiertas necesitan de proyectos conjuntos para complementar la red existente (siguiendo también intereses nacionales).
- Selección de sitios adicionales **puede ser realizada** desde una perspectiva global.

¿Cómo instalar una red geodésica global en el mundo real?



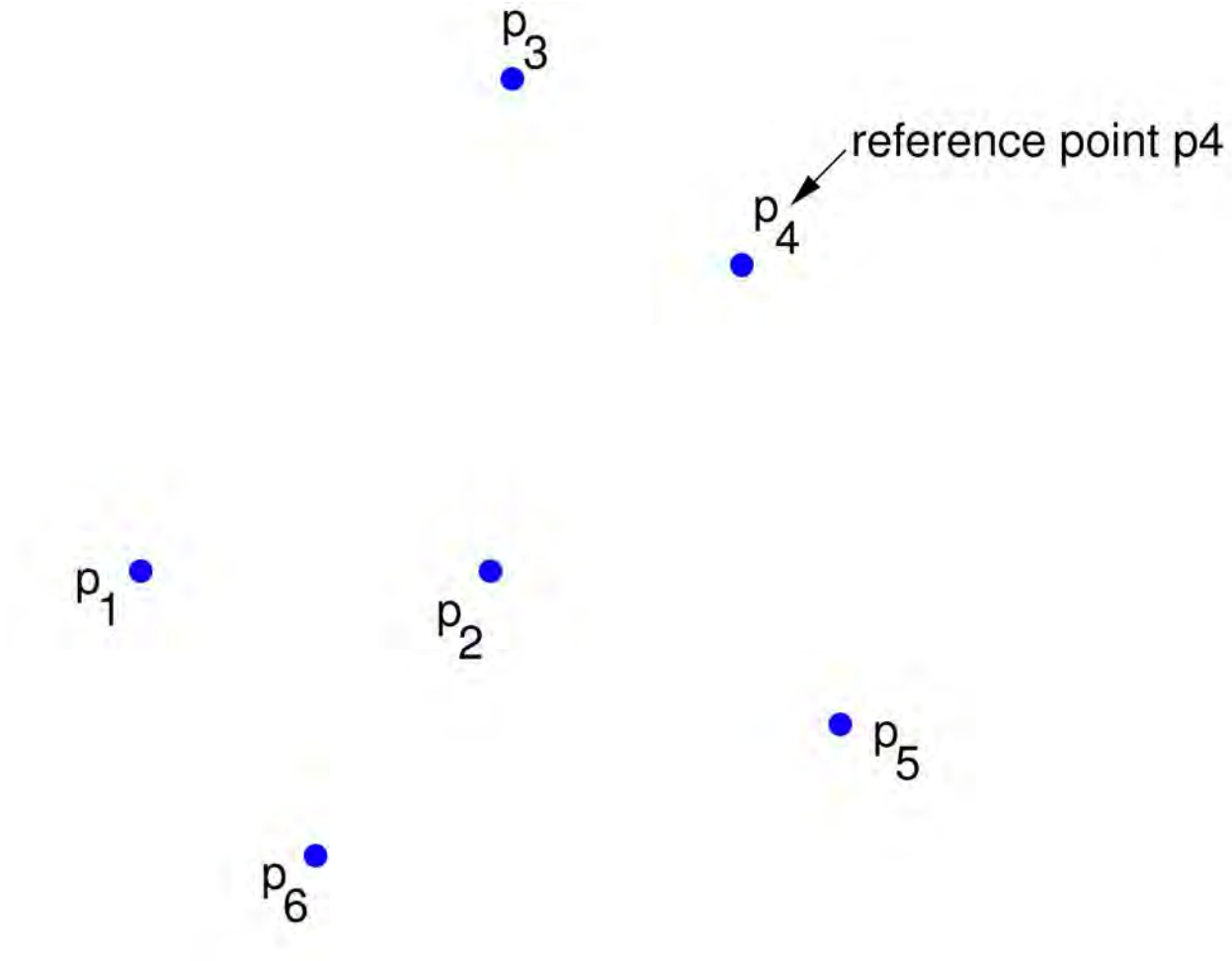
Most Remote Point (MRP) Method



Tenemos una distribución de puntos de referencia.



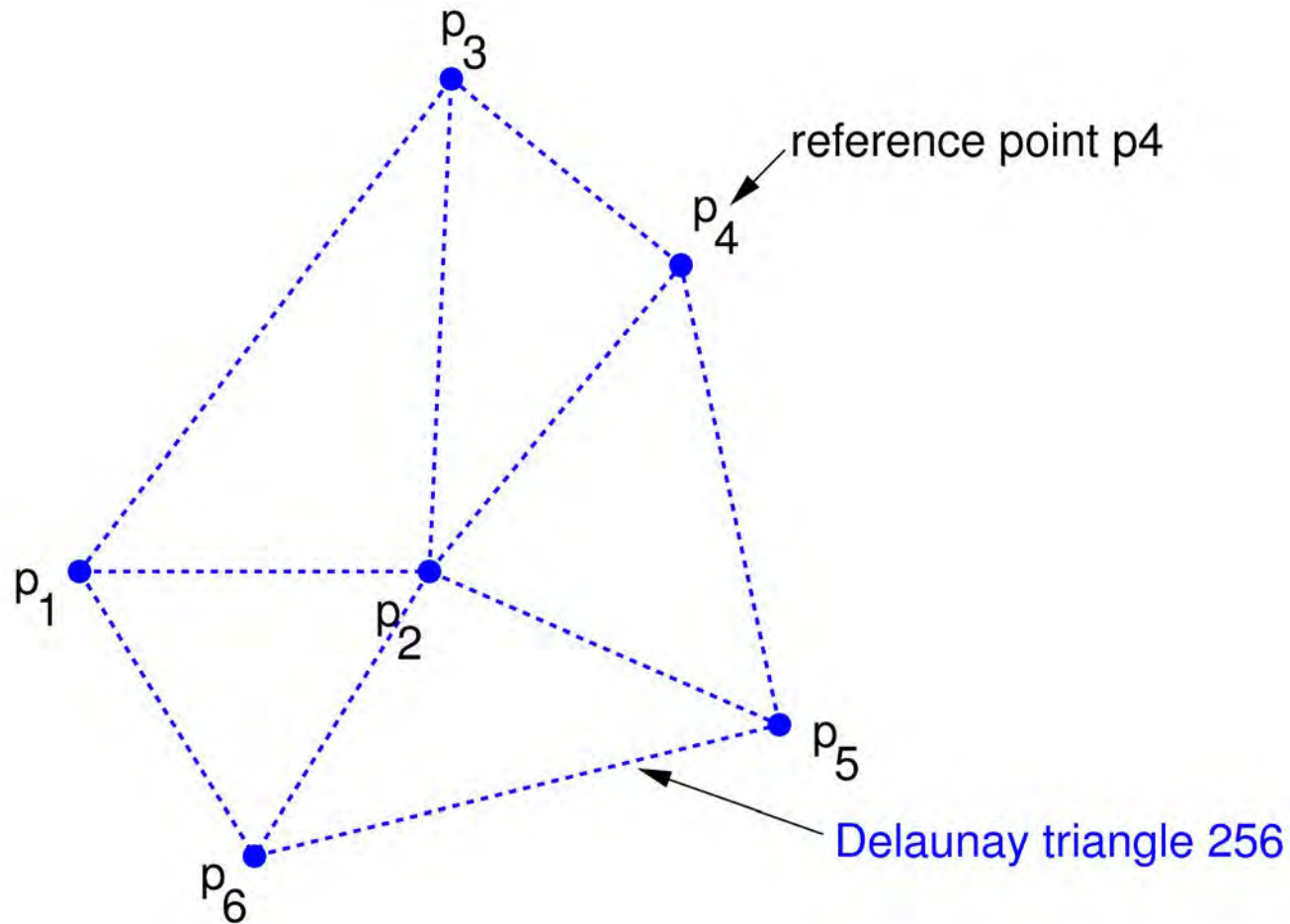
Most Remote Point (MRP) Method



Asignamos un nombre a los puntos de referencia.



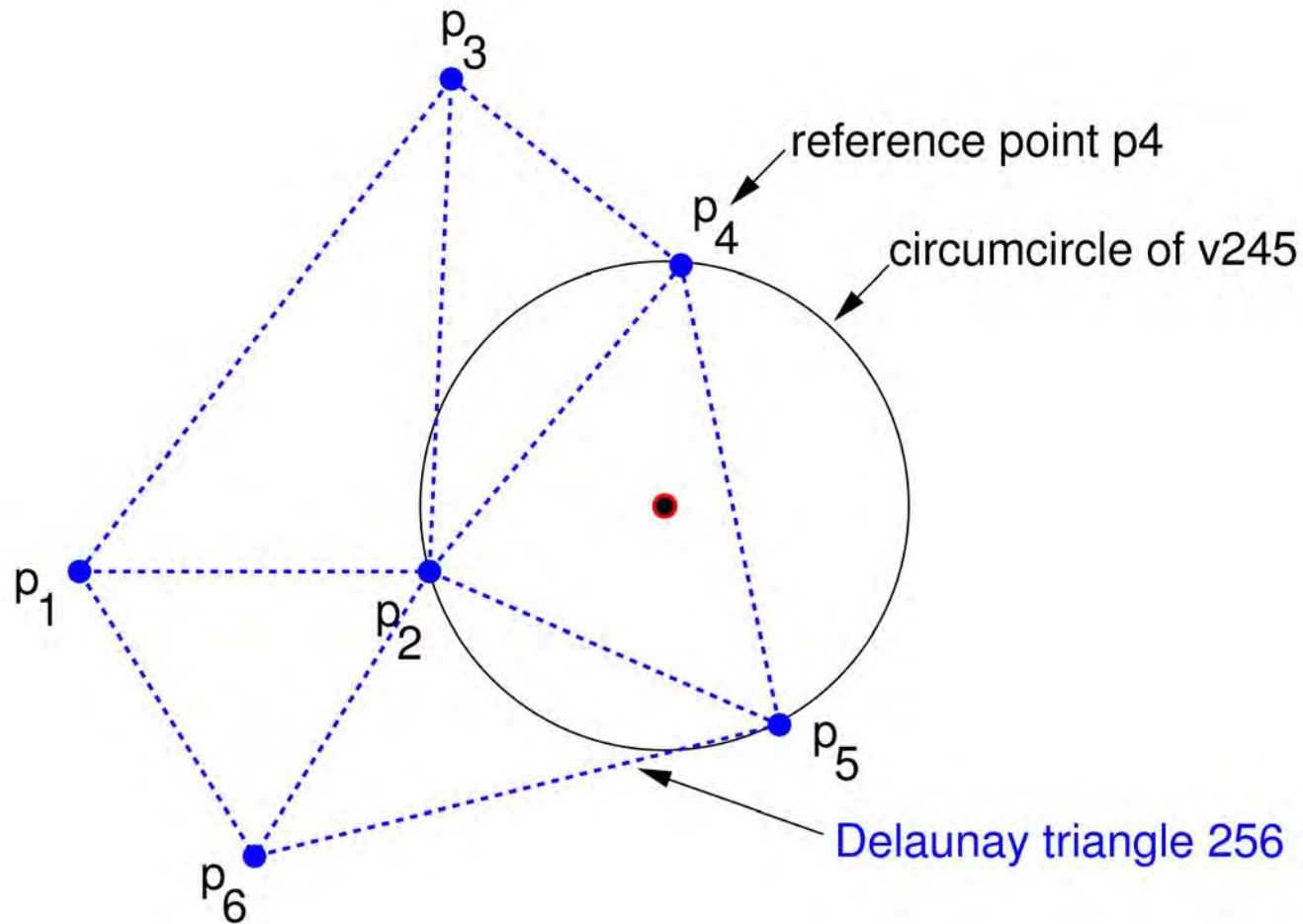
Most Remote Point (MRP) Method



Aplicamos una triangulación de Delaunay.



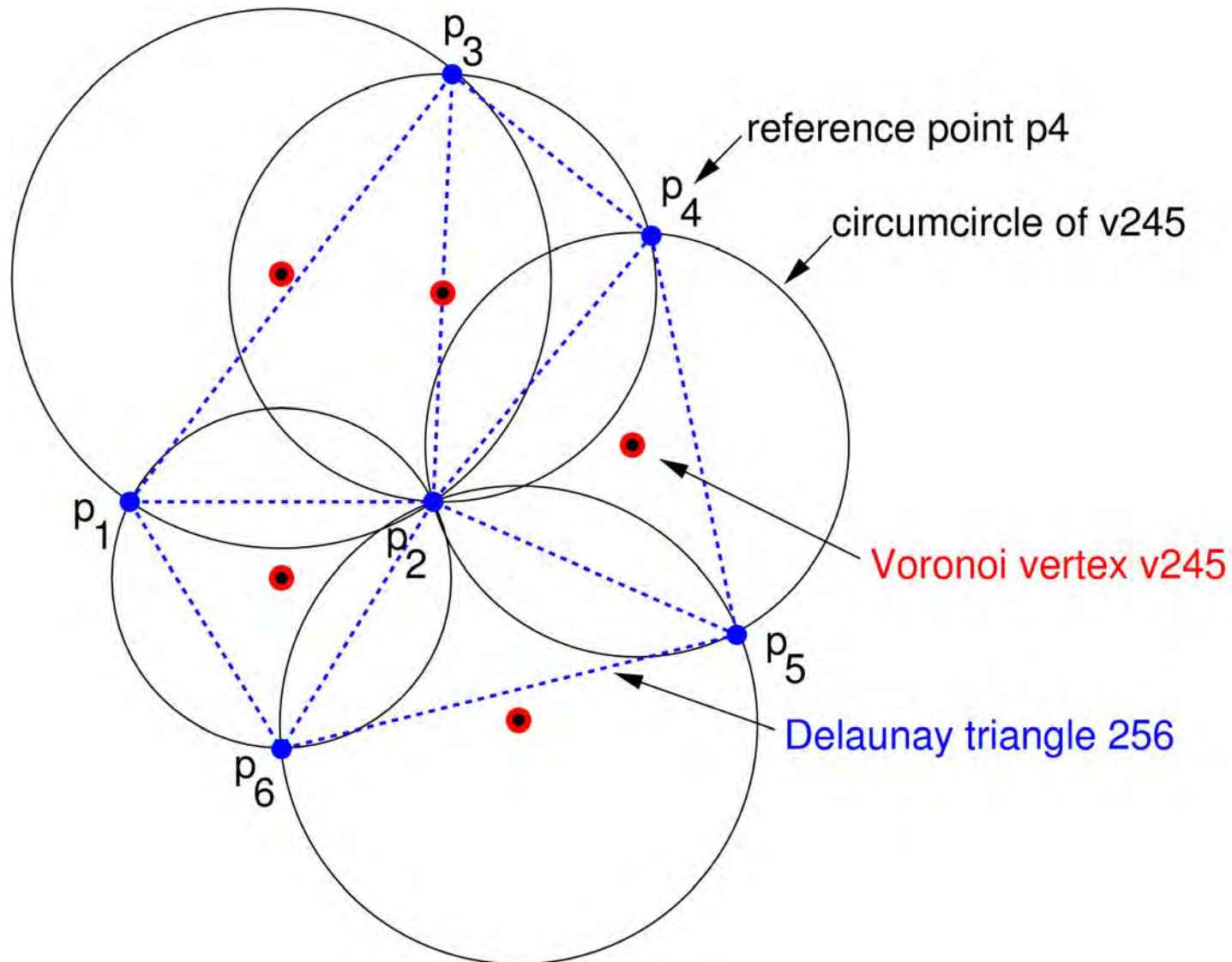
Most Remote Point (MRP) Method



Construimos una circunferencia circunscrita para un triángulo Delaunay.



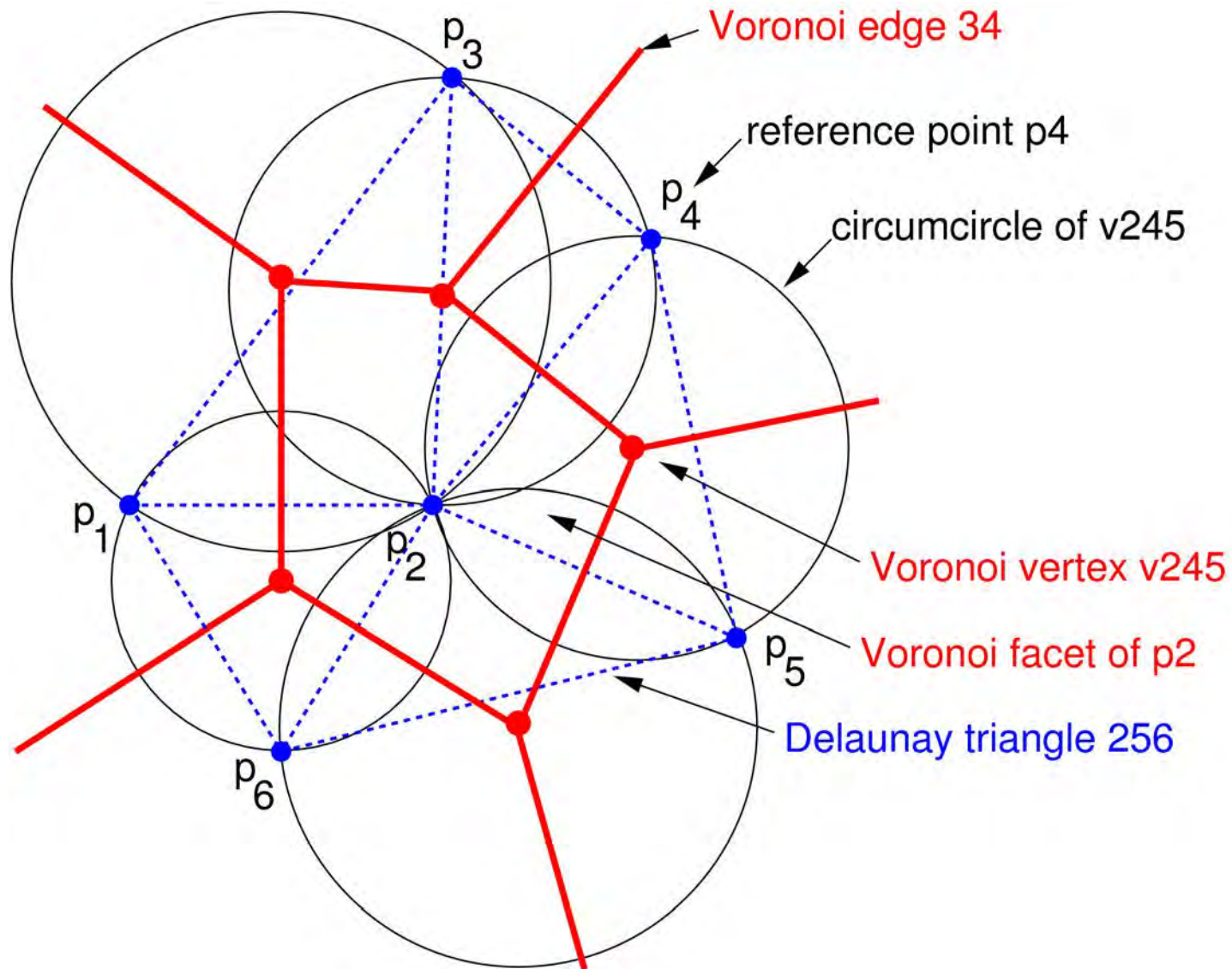
Most Remote Point (MRP) Method



Construimos una circunferencia circunscrita para cada triángulo.
Solo un circuncentro es el Punto más Remoto (Most-Remote-Point MRP).



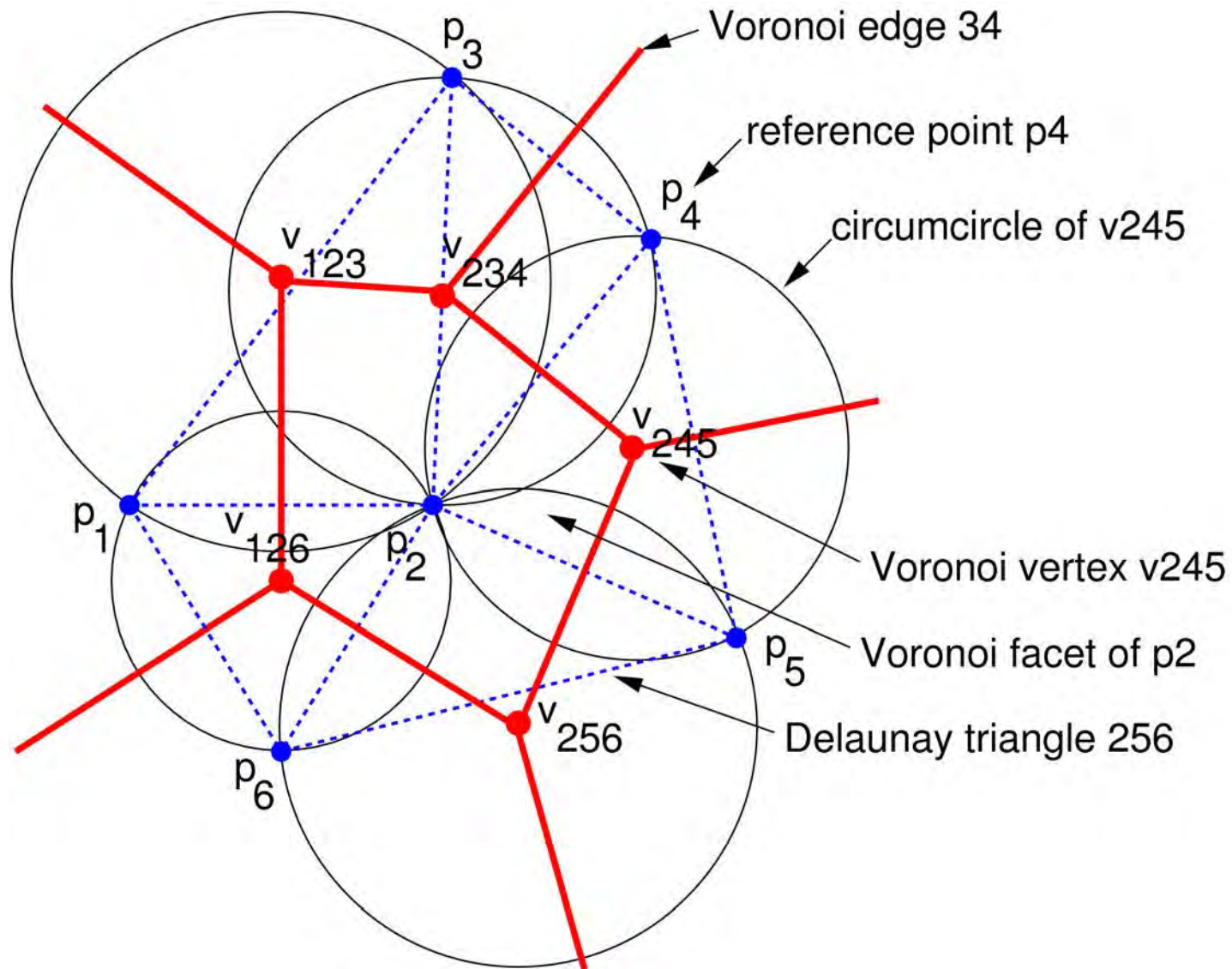
Most Remote Point (MRP) Method



Conectamos los vértices de Voronoi para construir cada faceta de Voronoi.



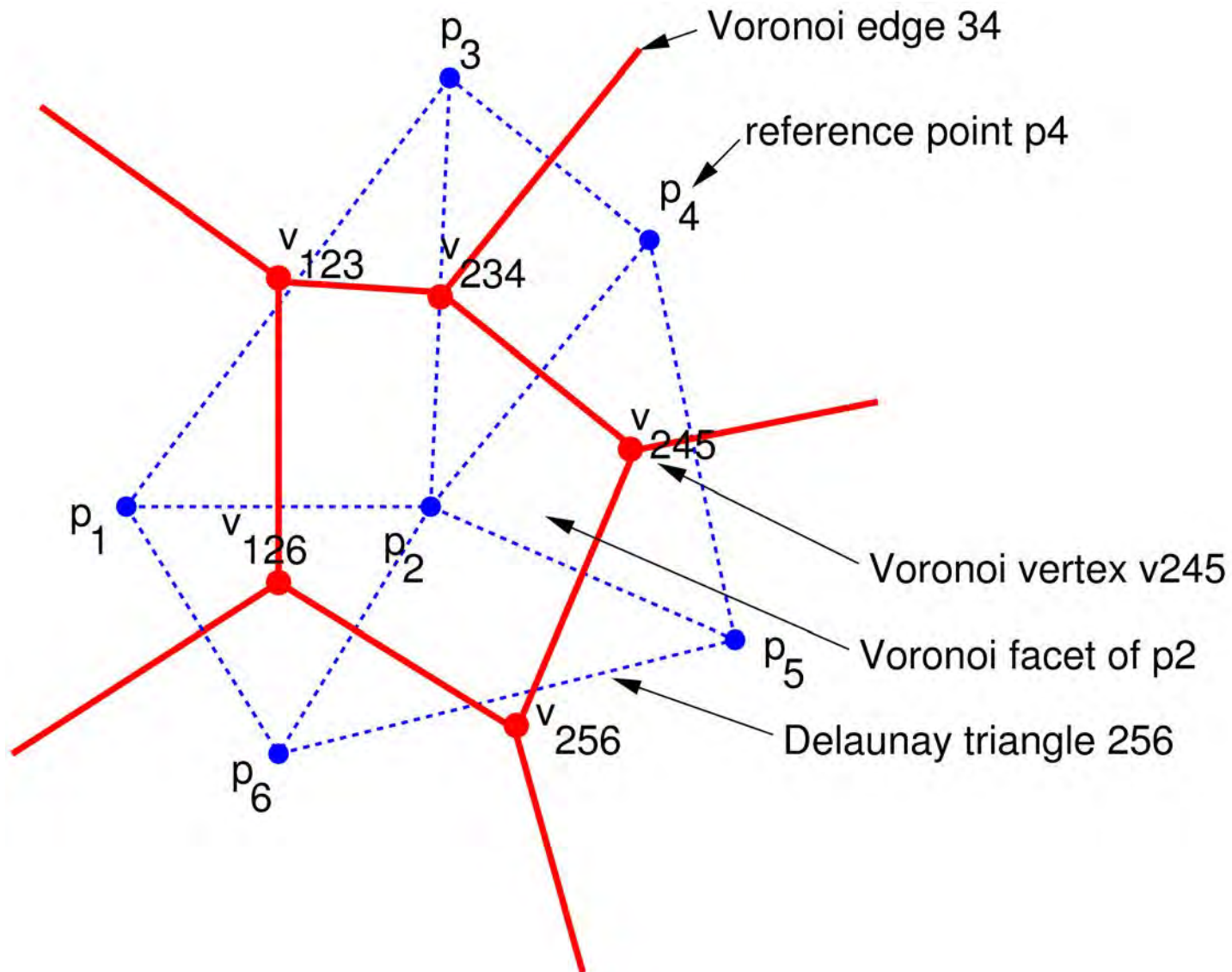
Most Remote Point (MRP) Method



Etiquetamos cada vértice de Voronoi. El MRP es v_{123} .



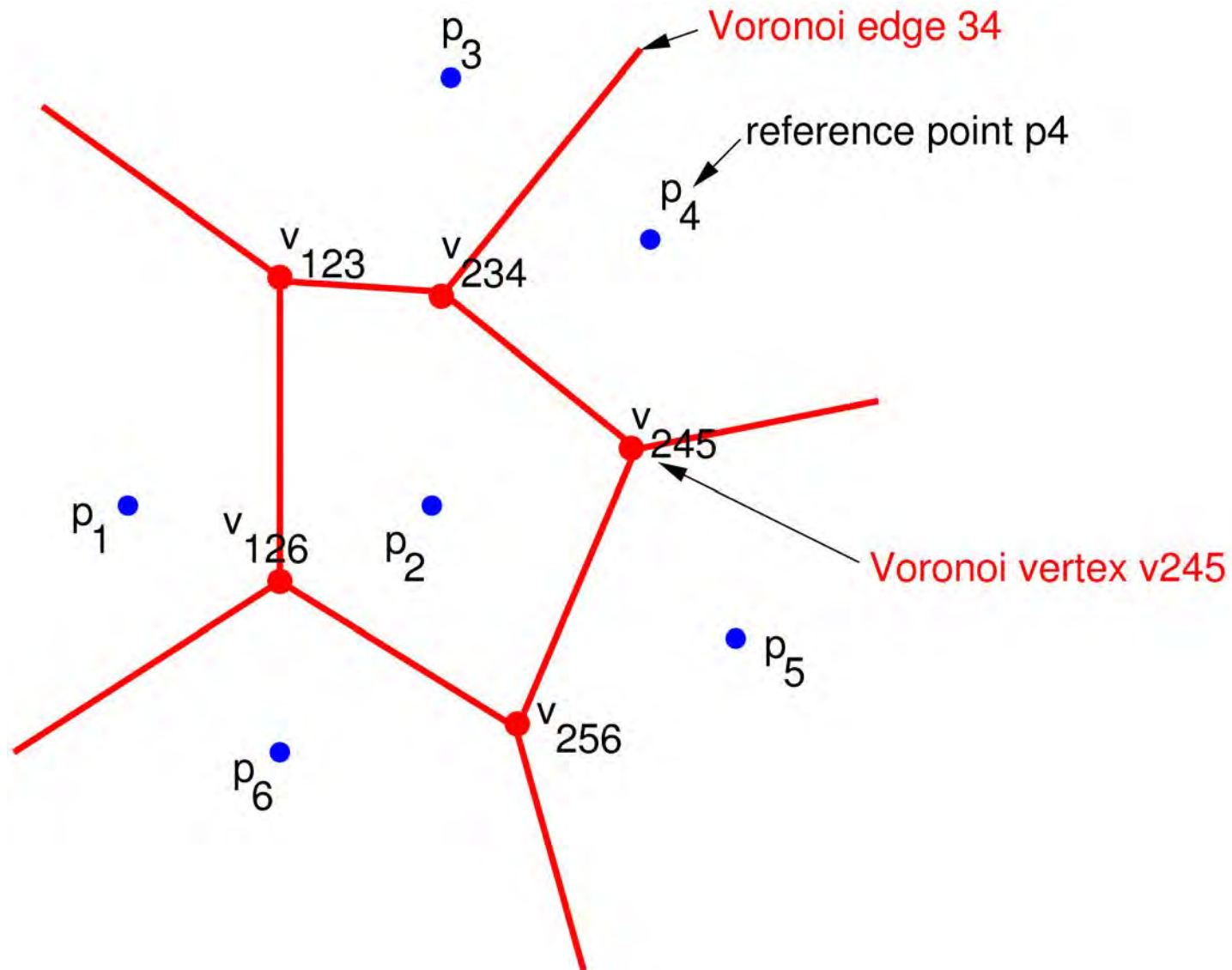
Most Remote Point (MRP) Method



Eliminamos las circunferencias.



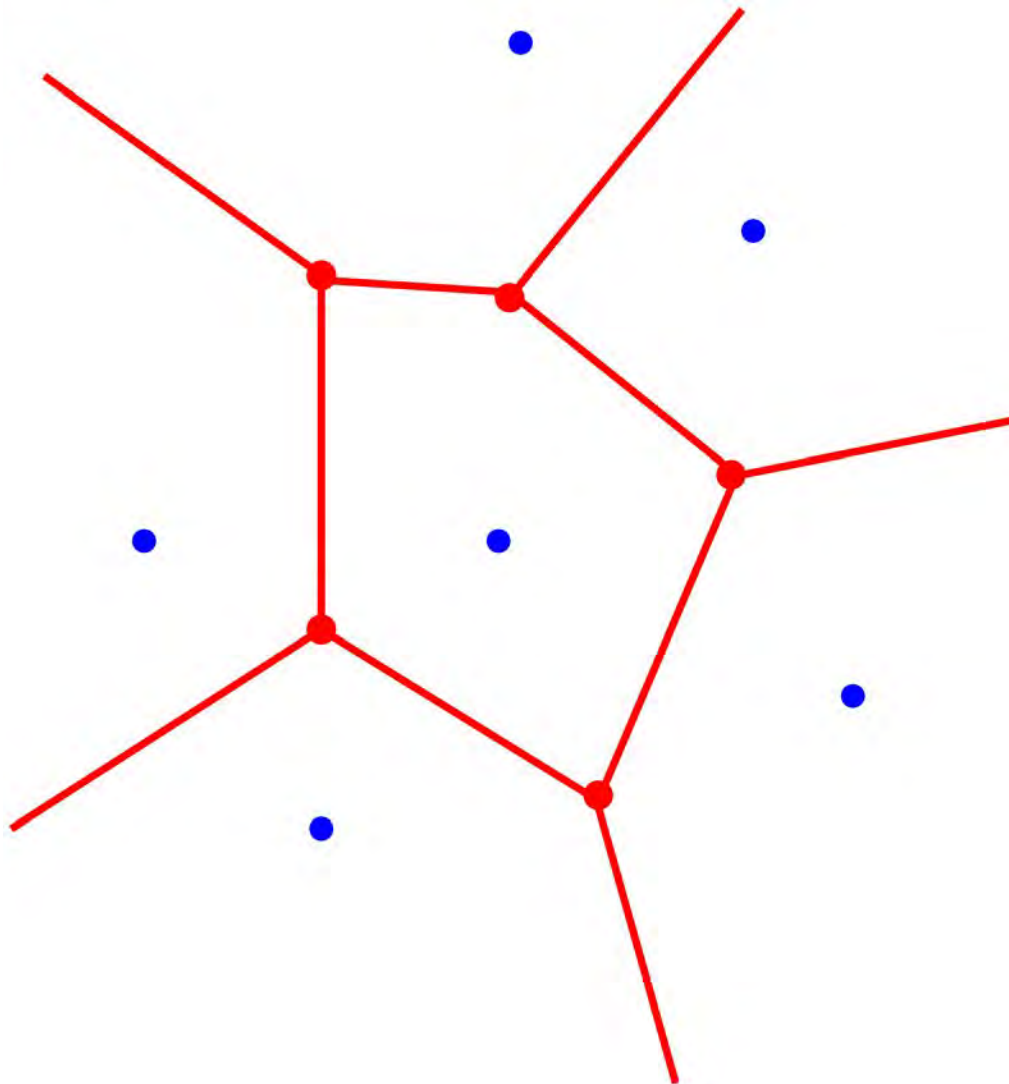
Most Remote Point (MRP) Method



Eliminamos la triangulación de Delaunay.



Most Remote Point (MRP) Method



Vemos los puntos de referencia y su área respectiva: la faceta de Voronoi.



Most Remote Point (MRP) Method

El método MRP es iterativo:

1. Se calcula el MRP de una red inicial de puntos de referencia.
2. Se define un primer nuevo punto cercano al MRP.
3. Se calcula el MRP de la red incluyendo el nuevo punto.
4. Se define un segundo nuevo punto cercano al MRP.
5. Se continua la iteración, calculando y añadiendo un nuevo MRP a la red, hasta que alguna condición (ej. N° total de estaciones) sea satisfecha.

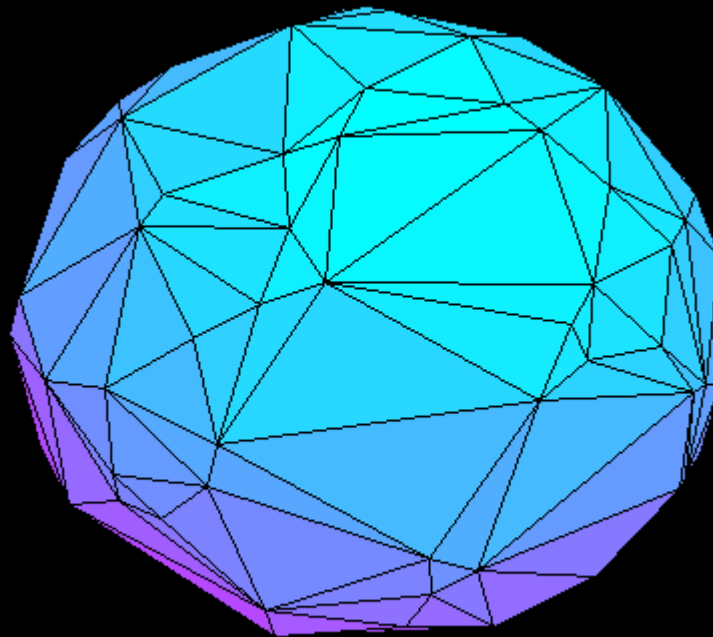


Most Remote Point (MRP) Method

El método MRP también funciona en una esfera:

- Los **vértices de Voronoi** son las normales a los triángulos de Delaunay que intersectan con el centro de la esfera.
- **Triángulos de Delaunay** están en la envolvente convexa del globo.

Convex hull of 100 "random uniform" points on a sphere





Parámetros de Calidad y Mejoramiento

Parámetro de Calidad

$$Q_i := 1 / \sigma_i^A$$

con σ_i^A = desviación estándar de las
facetas de Voronoi

Parámetro de Homogeneidad

$$H = Q / n$$

con n = número de puntos

Parámetro de Mejoramiento

$$I_{\text{rel}}^r := 1 - r_{i+1} / r_i$$

con r_i = radio de la circunferencia del
MRP en la iteración i

$$I_{\text{rel}}^Q := Q_{i+1} / Q_i - 1$$

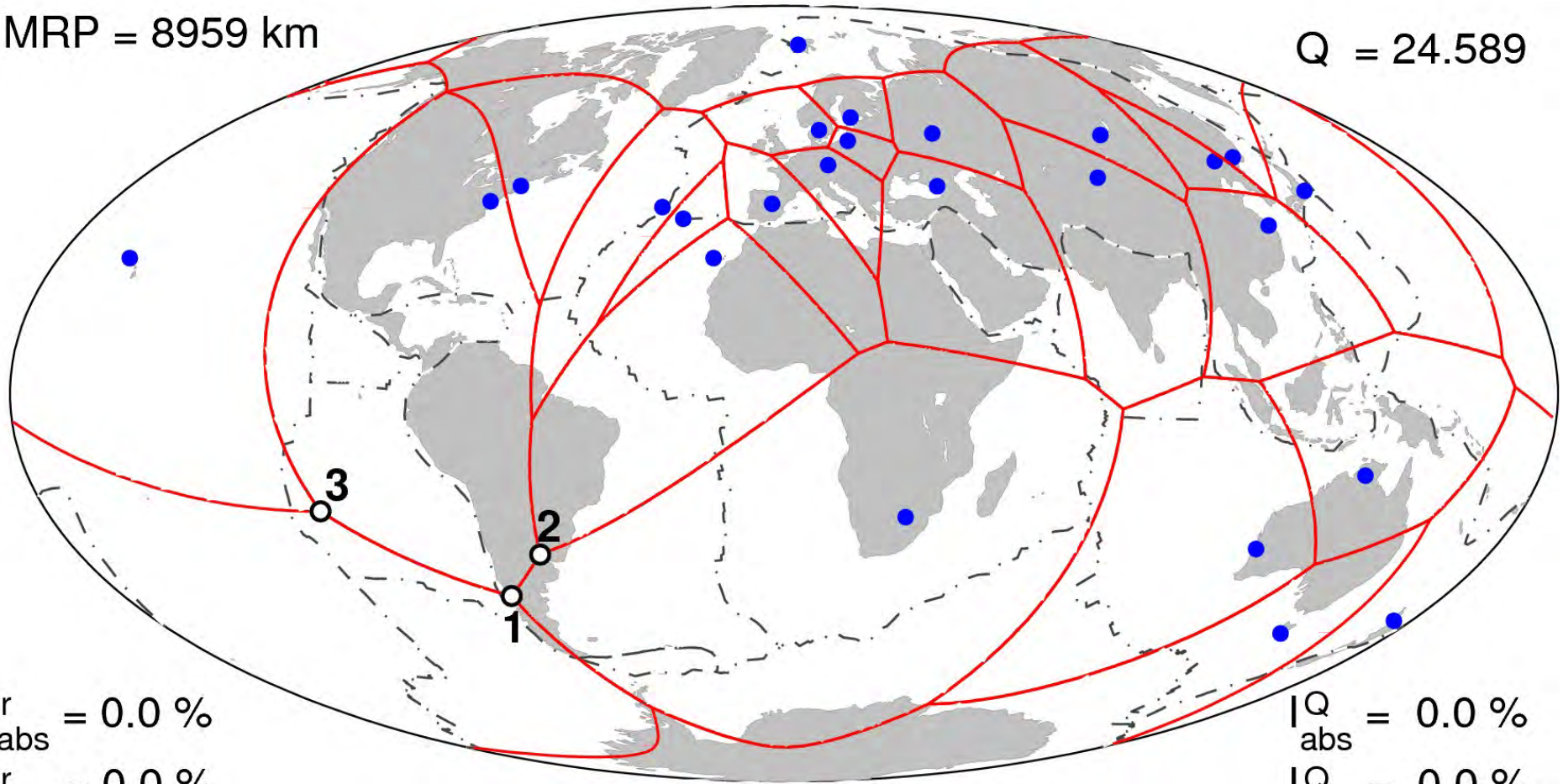
con parámetros de calidad como
función de las facetas de Voronoi.



VGOS network initial configuration (n=25)

MRP = 8959 km

Q = 24.589



$|r_{\text{abs}}| = 0.0 \%$

$|r_{\text{rel}}| = 0.0 \%$

$|Q_{\text{abs}}| = 0.0 \%$

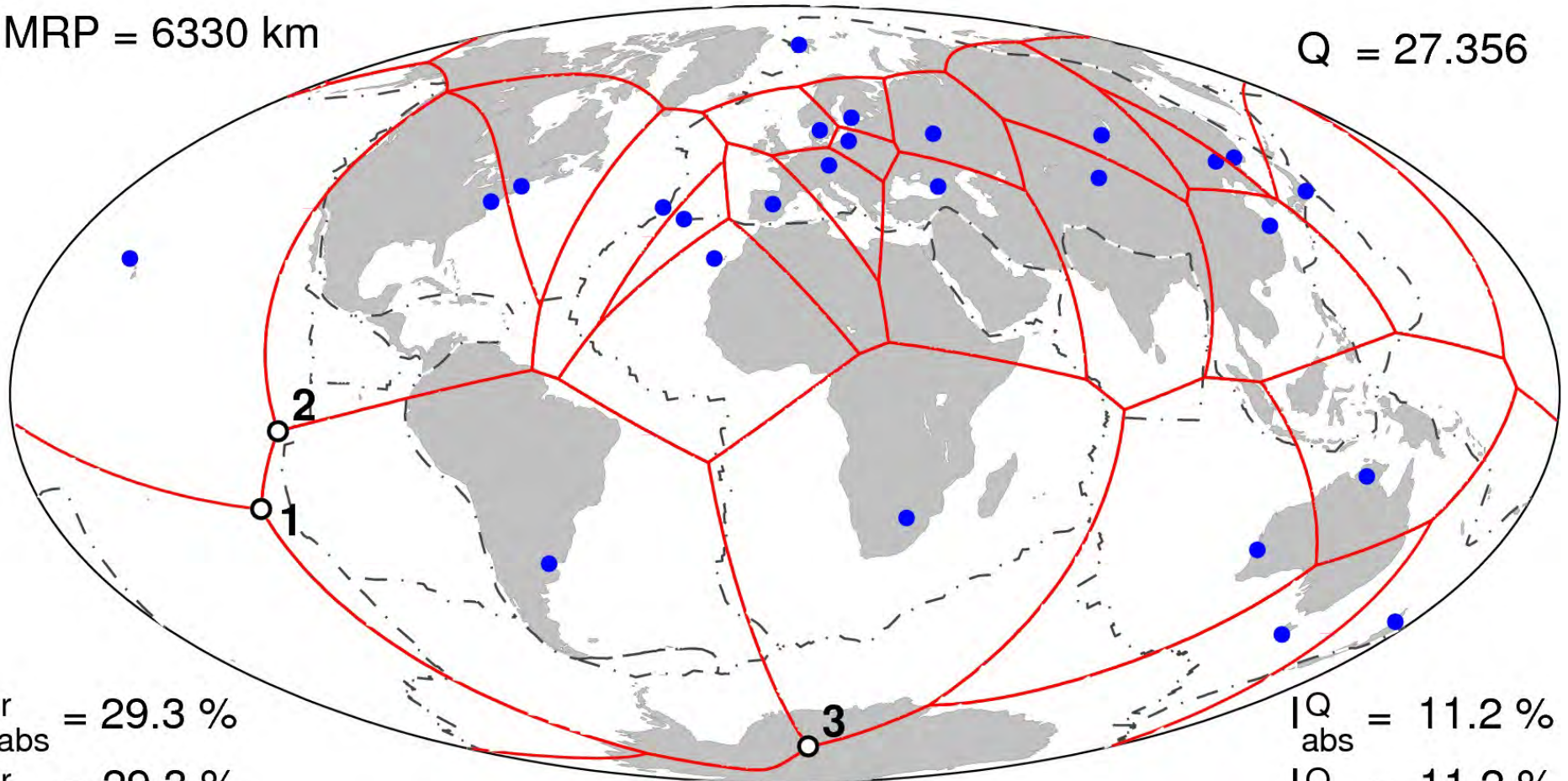
$|Q_{\text{rel}}| = 0.0 \%$



VGOS network + LP (n=26)

MRP = 6330 km

Q = 27.356



$|r_{\text{abs}}| = 29.3 \%$

$|r_{\text{rel}}| = 29.3 \%$

$|Q_{\text{abs}}| = 11.2 \%$

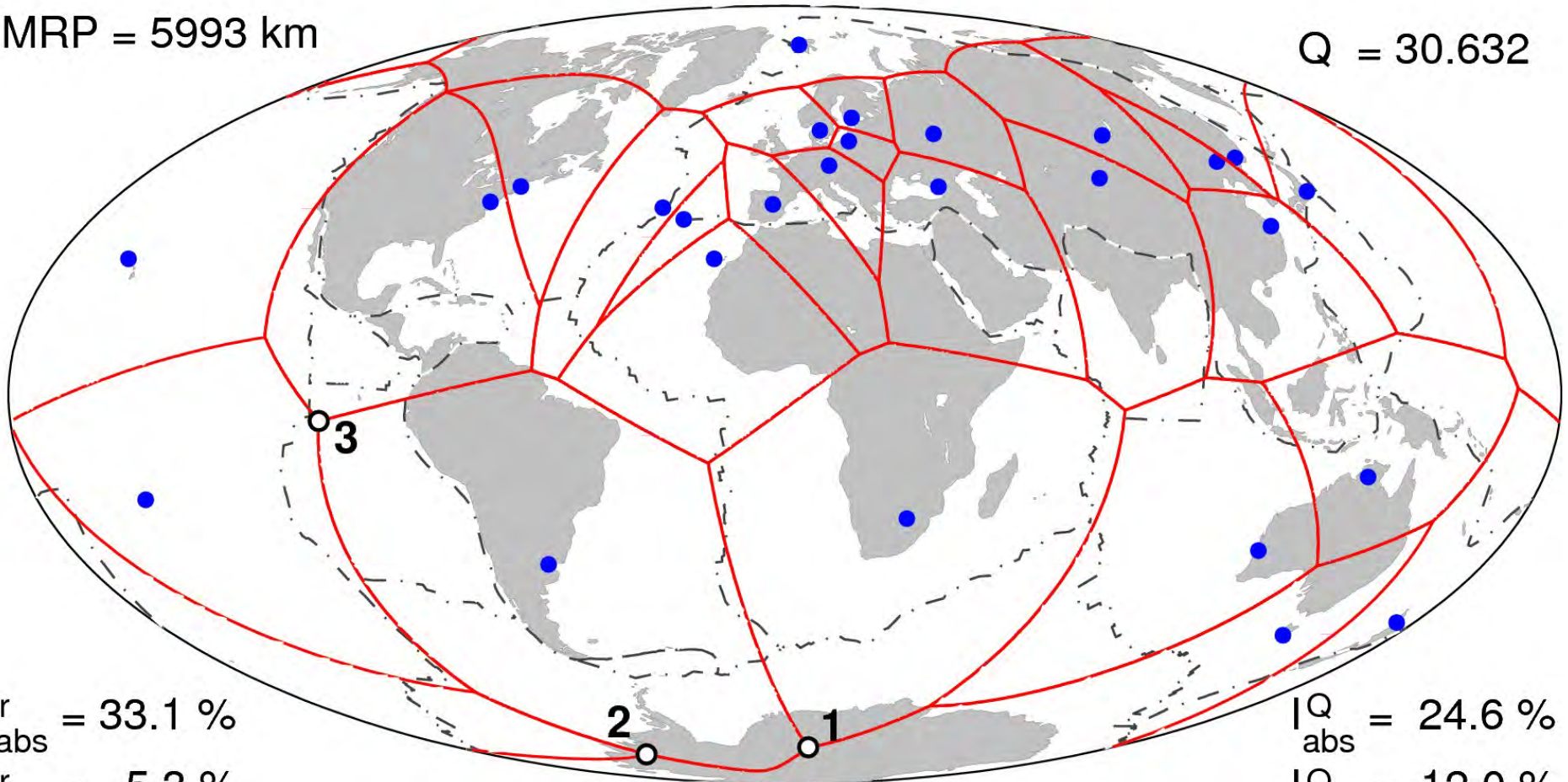
$|Q_{\text{rel}}| = 11.2 \%$



VGOS network + LP + Th (n=27)

MRP = 5993 km

Q = 30.632



$|r_{\text{abs}}| = 33.1 \%$

$|r_{\text{rel}}| = 5.3 \%$

$|Q_{\text{abs}}| = 24.6 \%$

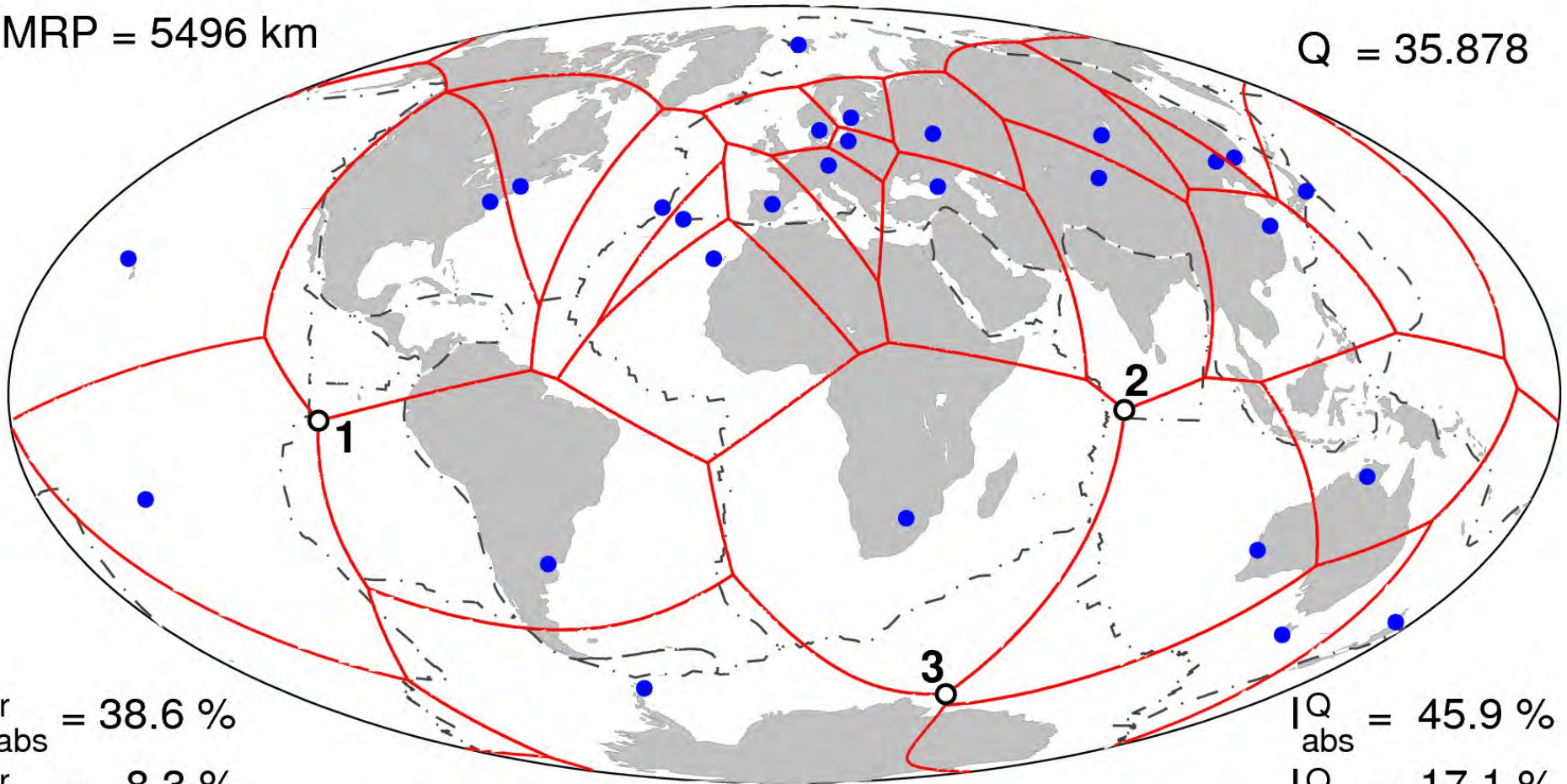
$|Q_{\text{rel}}| = 12.0 \%$



VGOS network + LP + Th + Oh (n=28)

MRP = 5496 km

Q = 35.878



$|r_{\text{abs}}| = 38.6 \%$

$|r_{\text{rel}}| = 8.3 \%$

$|Q_{\text{abs}}| = 45.9 \%$

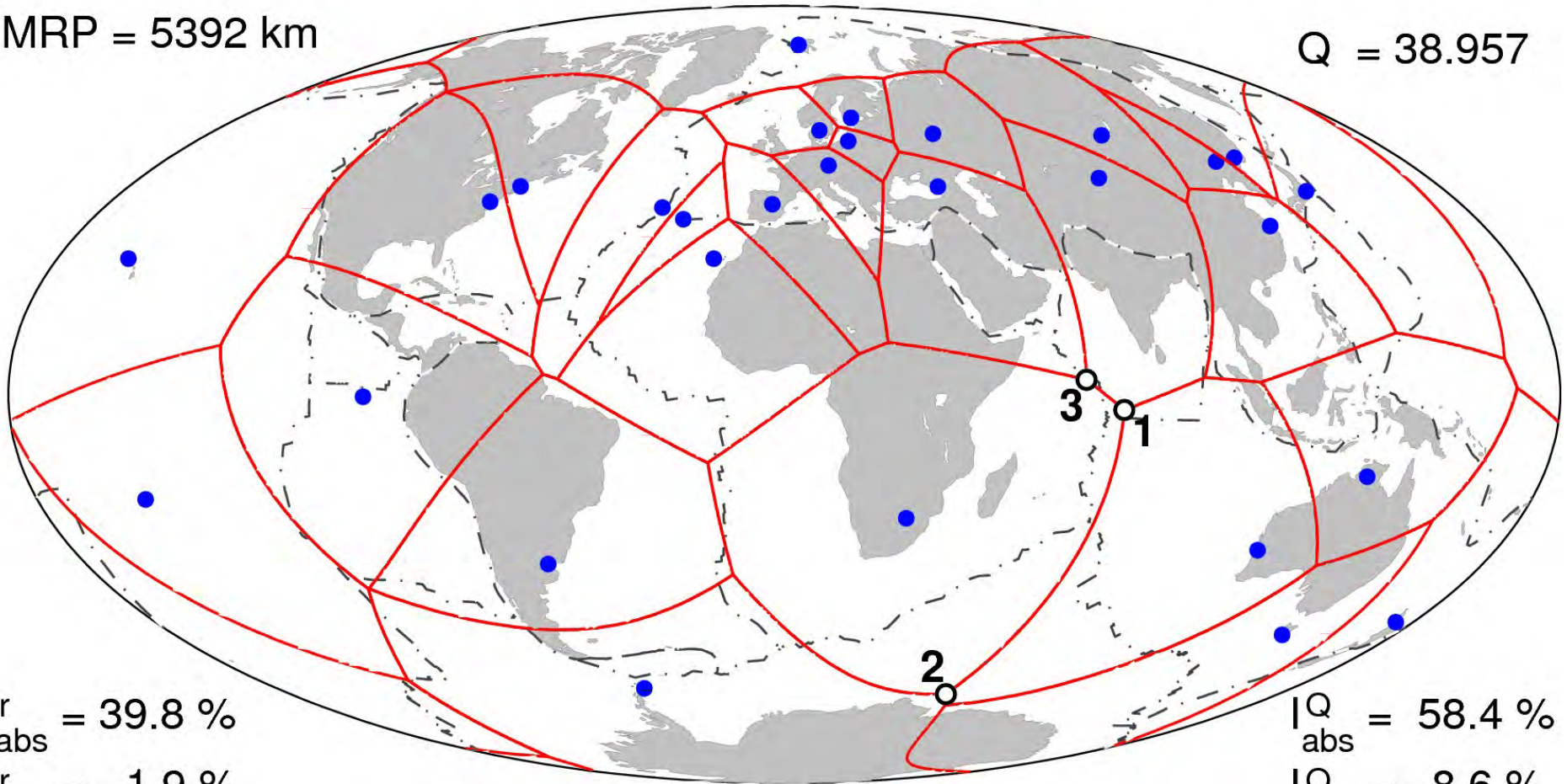
$|Q_{\text{rel}}| = 17.1 \%$



VGOS network + LP + Th + Oh + Gl (n=29)

MRP = 5392 km

Q = 38.957



$|r_{\text{abs}}| = 39.8 \%$

$|r_{\text{rel}}| = 1.9 \%$

$|Q_{\text{abs}}| = 58.4 \%$

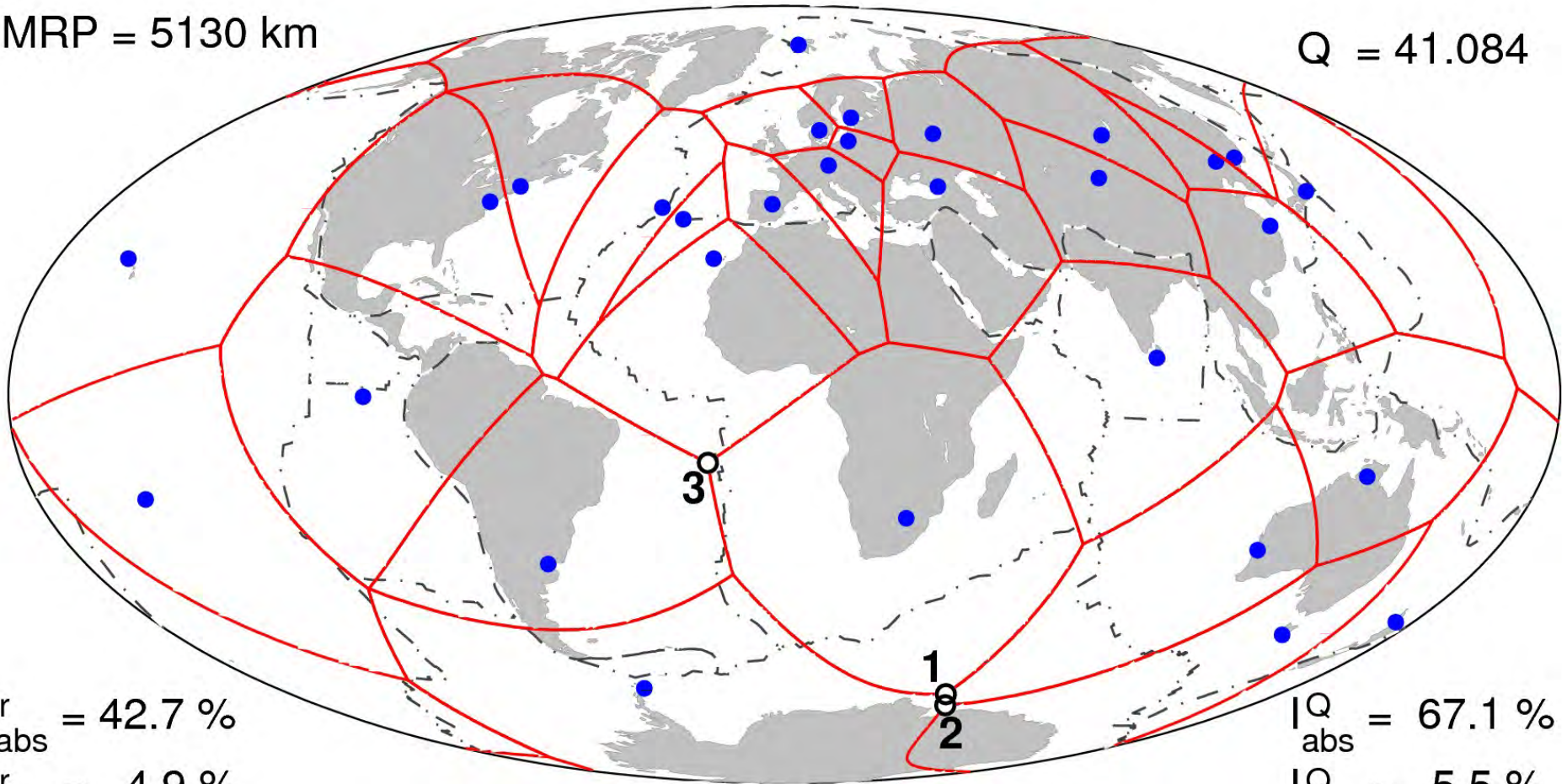
$|Q_{\text{rel}}| = 8.6 \%$



VGOS network + LP + Th + Oh + Gl + Co (n=30)

MRP = 5130 km

Q = 41.084



$|r_{\text{abs}}| = 42.7 \%$

$|r_{\text{rel}}| = 4.9 \%$

$|Q_{\text{abs}}| = 67.1 \%$

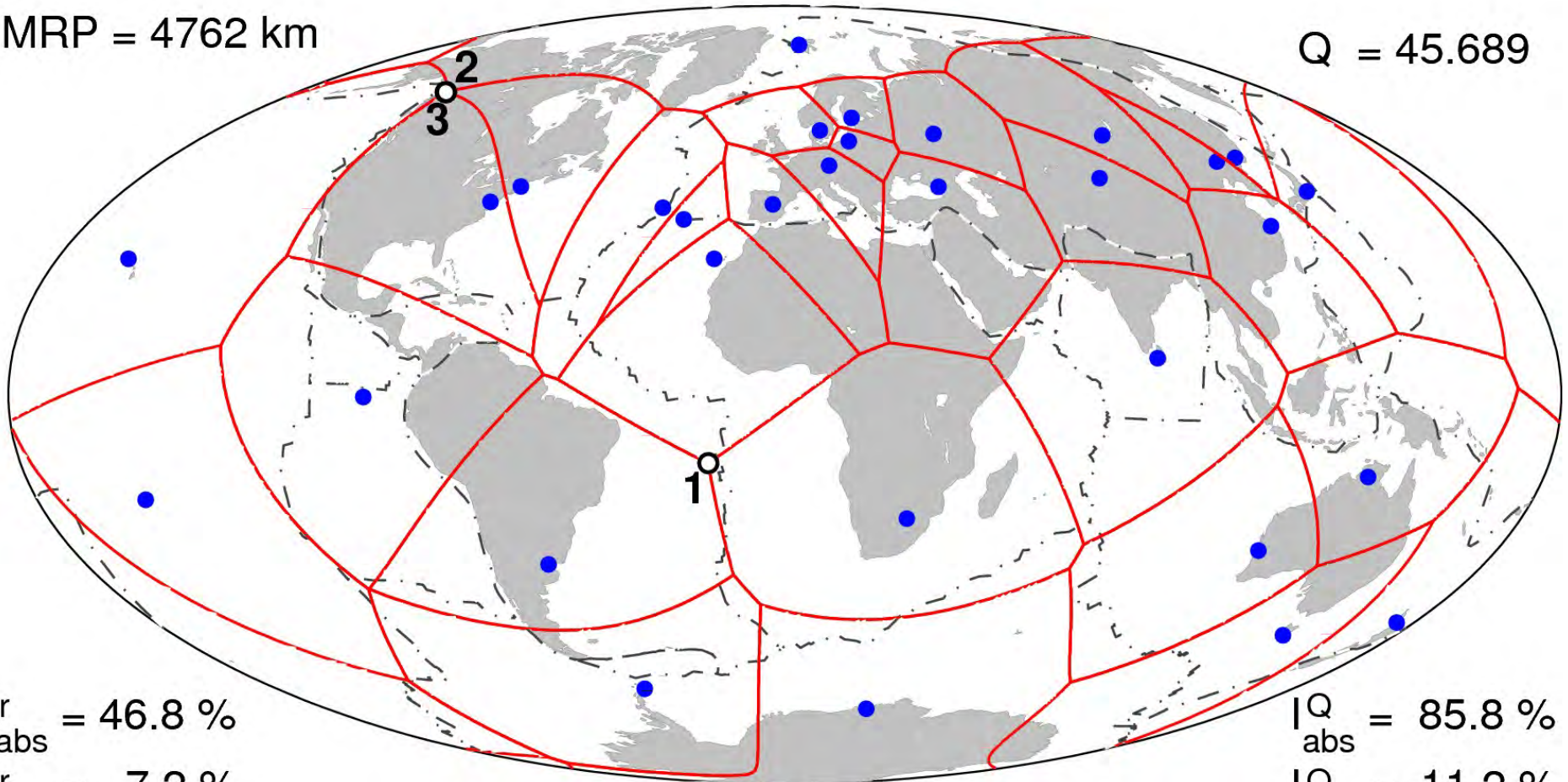
$|Q_{\text{rel}}| = 5.5 \%$



VGOS network + LP + Th + Oh + Gl + Co + Sy (n=31)

MRP = 4762 km

Q = 45.689



$|r_{\text{abs}}| = 46.8 \%$

$|r_{\text{rel}}| = 7.2 \%$

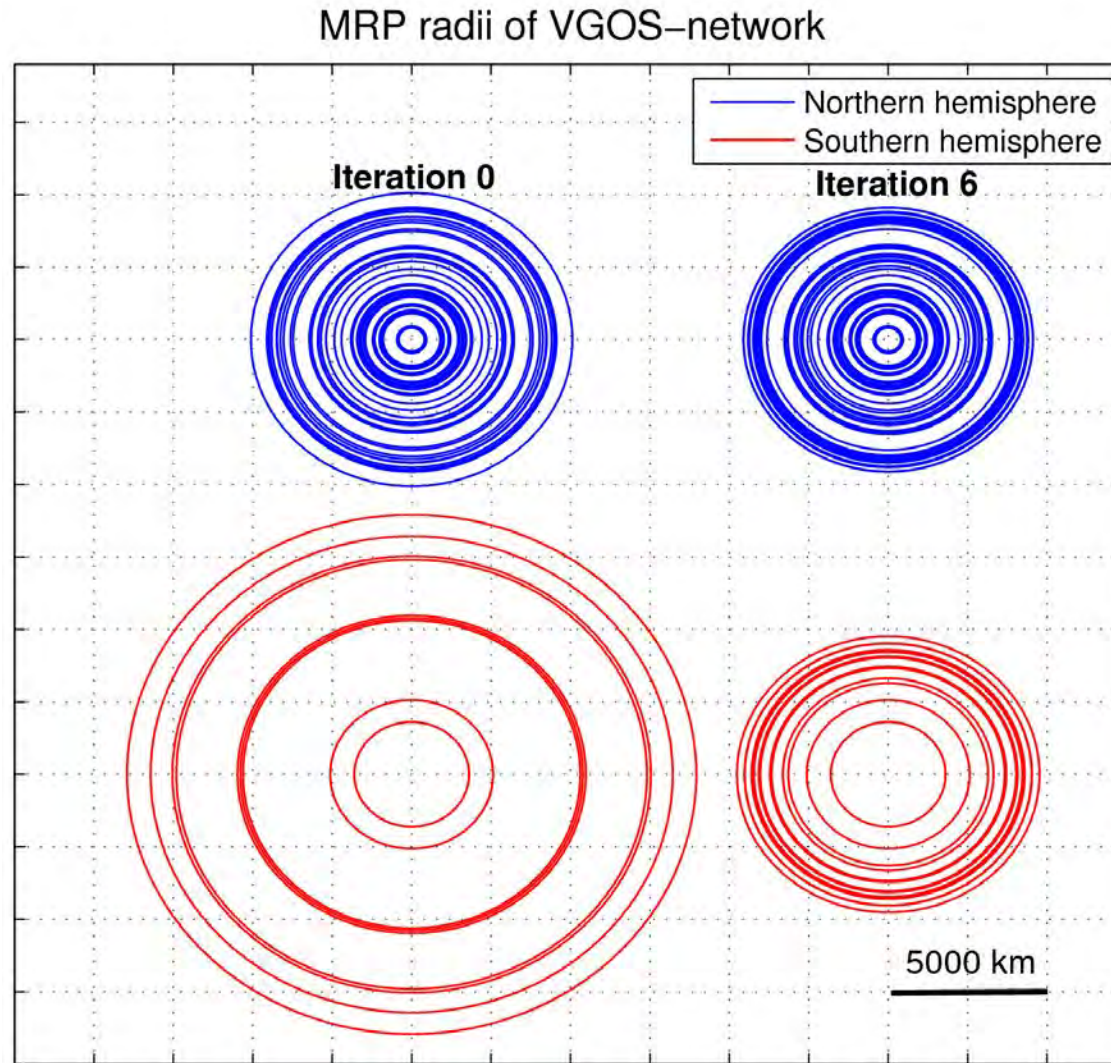
$|Q_{\text{abs}}| = 85.8 \%$

$|Q_{\text{rel}}| = 11.2 \%$



Disminución del radio MRP de las circunferencias.

VGOS initial configuration vs. iteration 6

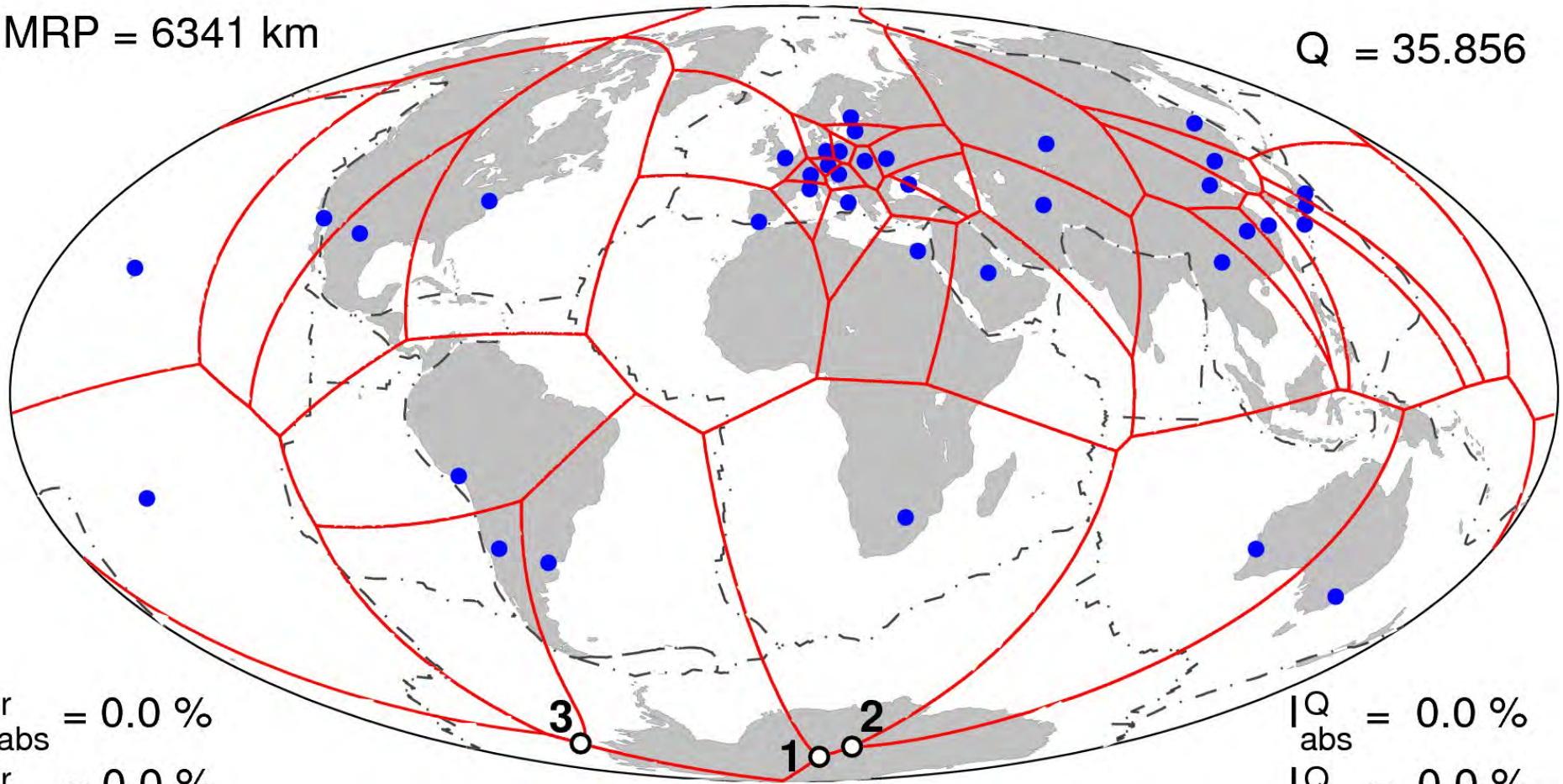




SLR network initial configuration (n=39)

MRP = 6341 km

Q = 35.856



$|r_{\text{abs}}| = 0.0 \%$

$|r_{\text{rel}}| = 0.0 \%$

$|Q_{\text{abs}}| = 0.0 \%$

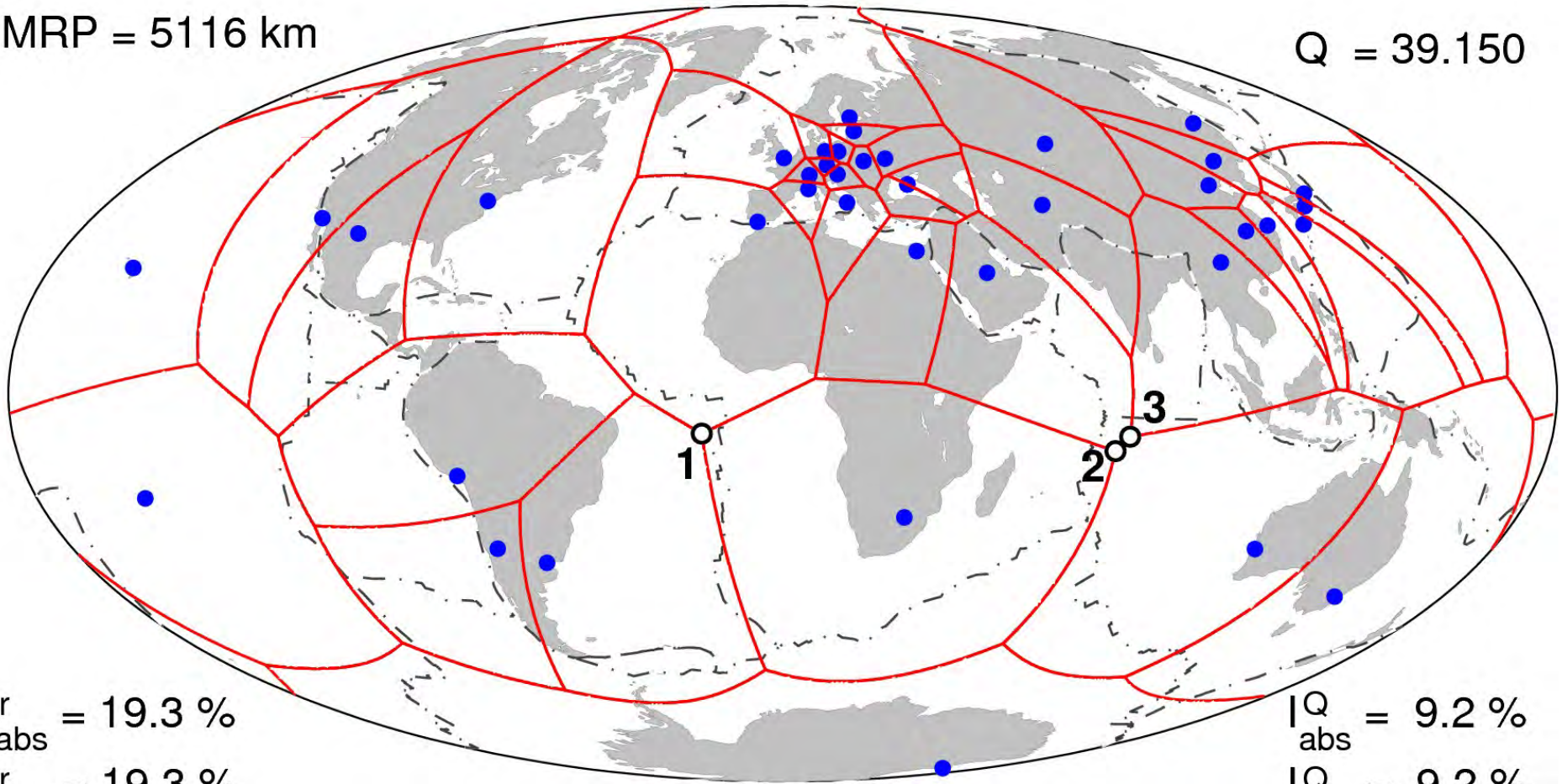
$|Q_{\text{rel}}| = 0.0 \%$



SLR network + MM (n=40)

MRP = 5116 km

Q = 39.150



$|r_{\text{abs}}| = 19.3 \%$

$|r_{\text{rel}}| = 19.3 \%$

$|Q_{\text{abs}}| = 9.2 \%$

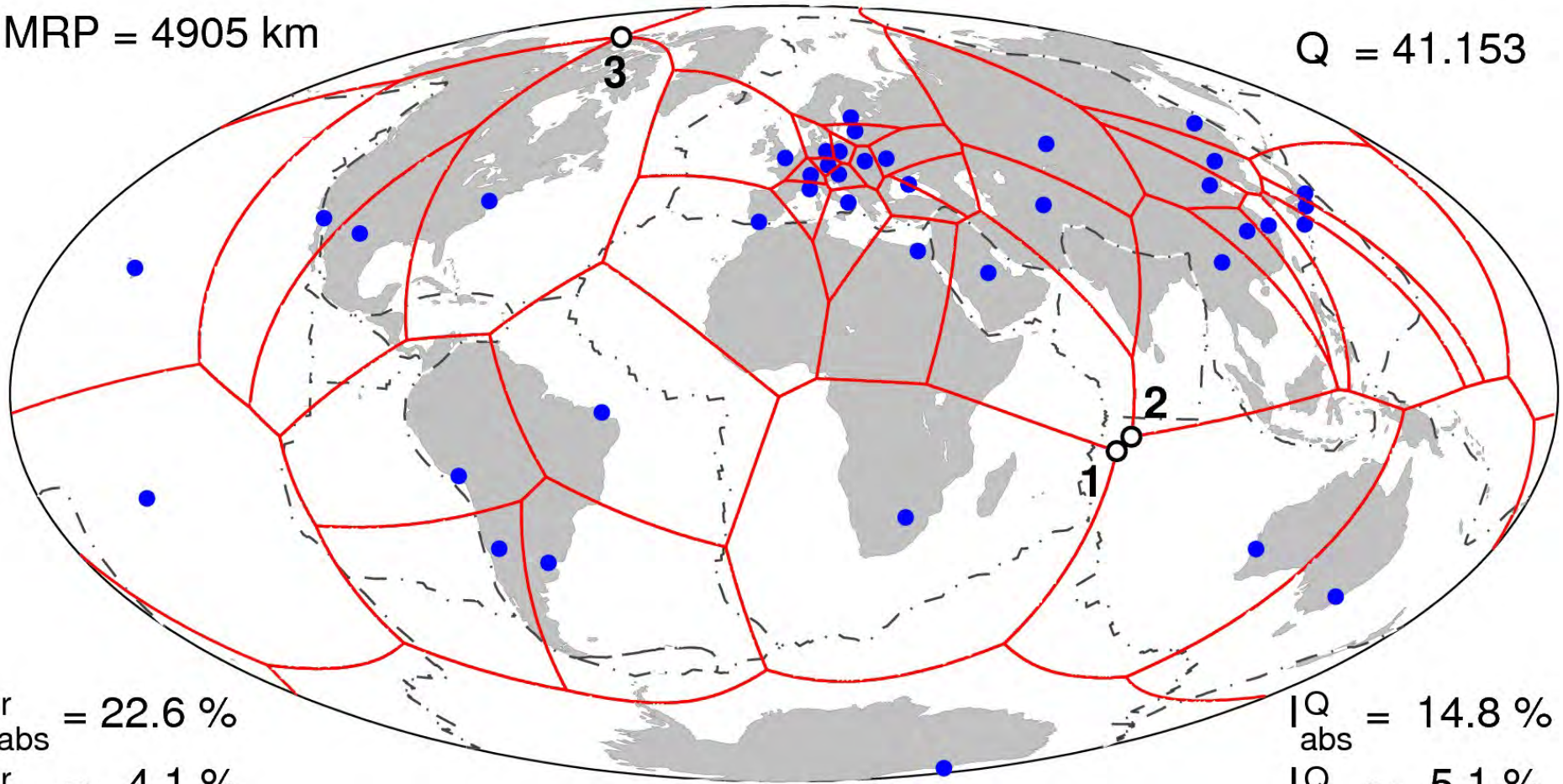
$|Q_{\text{rel}}| = 9.2 \%$



SLR network + MM + Ft (n=41)

MRP = 4905 km

Q = 41.153



$|r_{\text{abs}}| = 22.6 \%$

$|r_{\text{rel}}| = 4.1 \%$

$|Q_{\text{abs}}| = 14.8 \%$

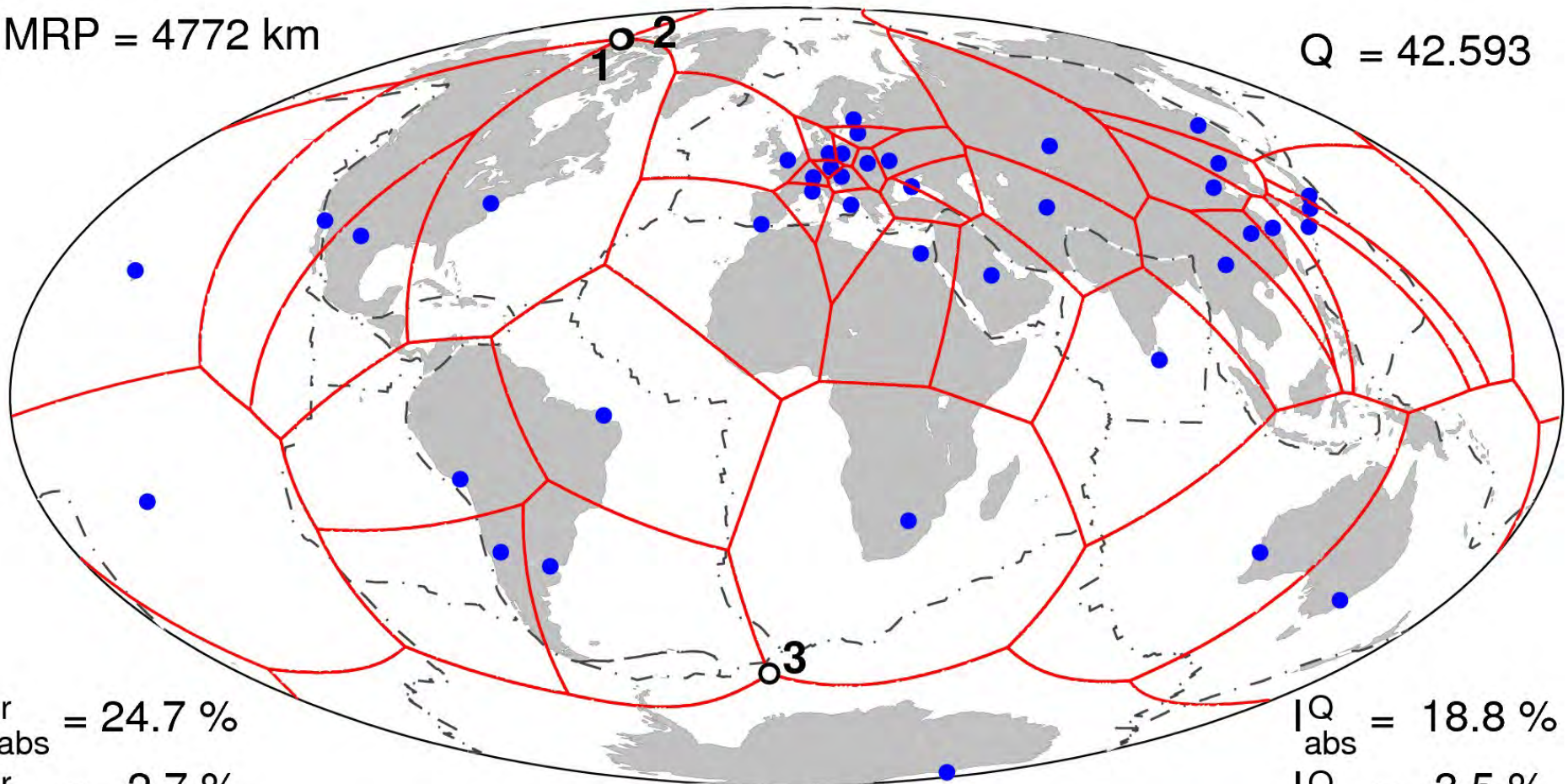
$|Q_{\text{rel}}| = 5.1 \%$



SLR network + MM + Ft + Co (n=42)

MRP = 4772 km

Q = 42.593



$|r_{\text{abs}}| = 24.7 \%$

$|r_{\text{rel}}| = 2.7 \%$

$|Q_{\text{abs}}| = 18.8 \%$

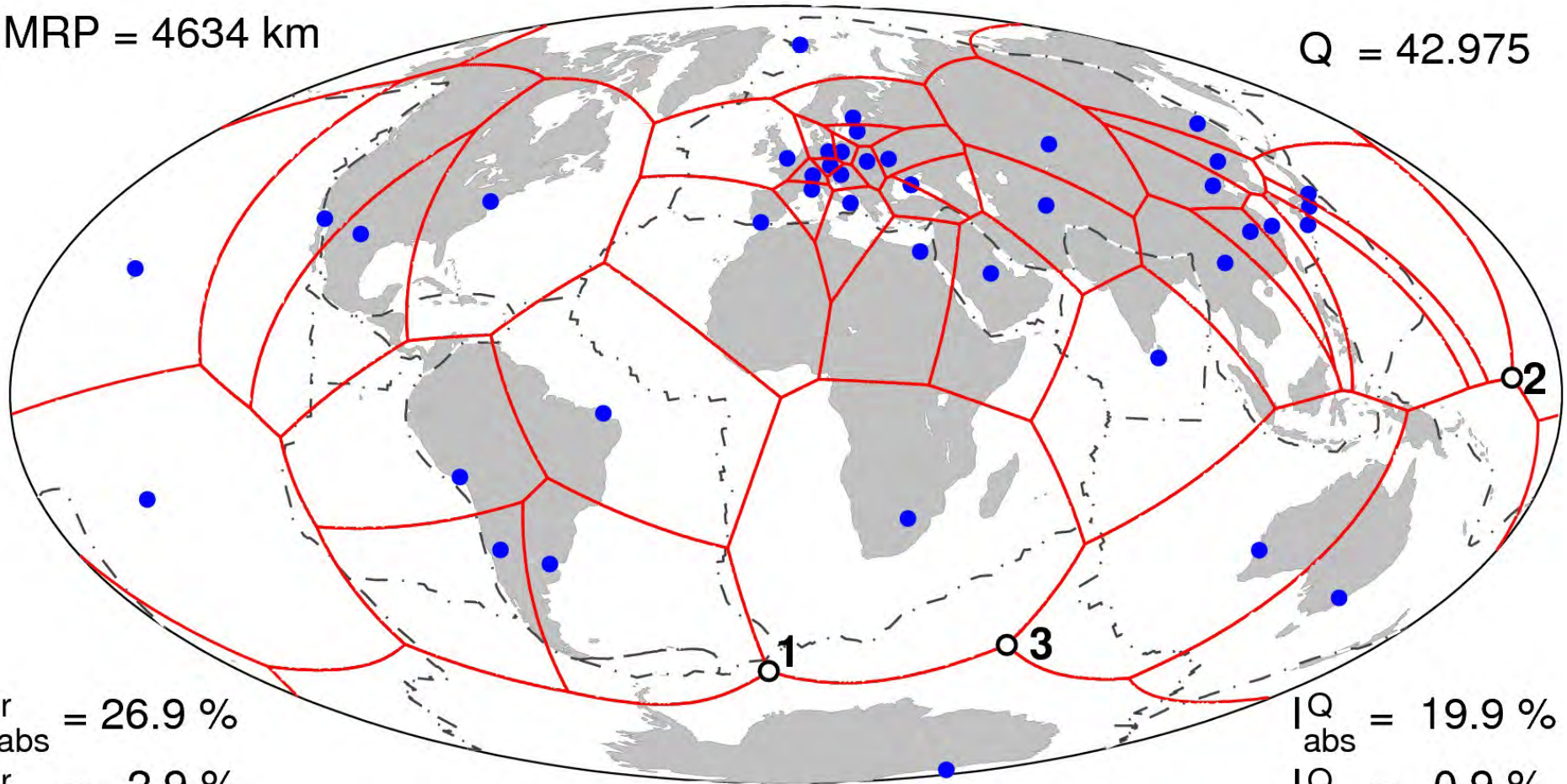
$|Q_{\text{rel}}| = 3.5 \%$



SLR network + MM + Ft + Co + Ny (n=43)

MRP = 4634 km

Q = 42.975



$|r_{\text{abs}}| = 26.9 \%$

$|r_{\text{rel}}| = 2.9 \%$

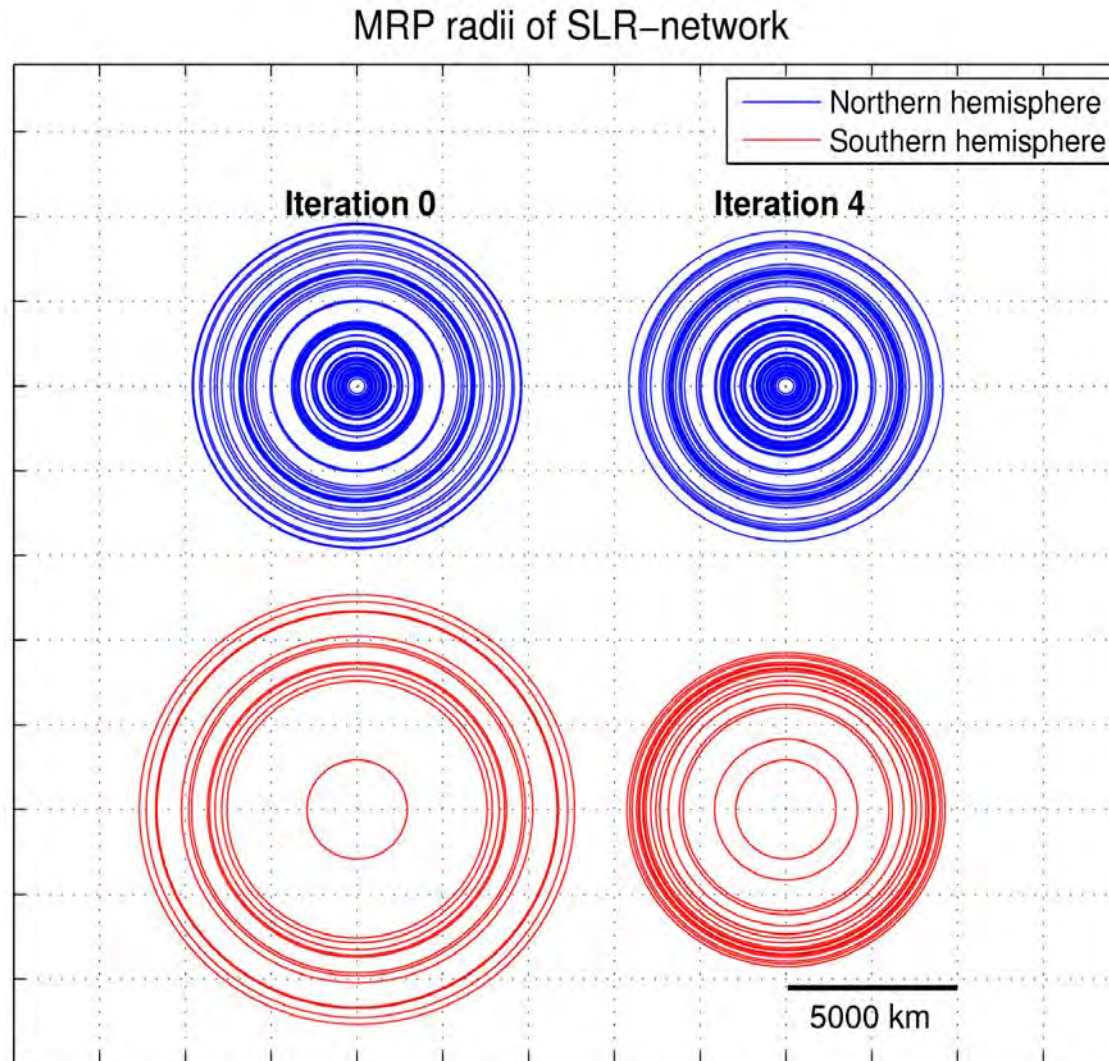
$|Q_{\text{abs}}| = 19.9 \%$

$|Q_{\text{rel}}| = 0.9 \%$



Disminución del radio MRP de las circunferencias.

SLR initial configuration vs. iteration 4

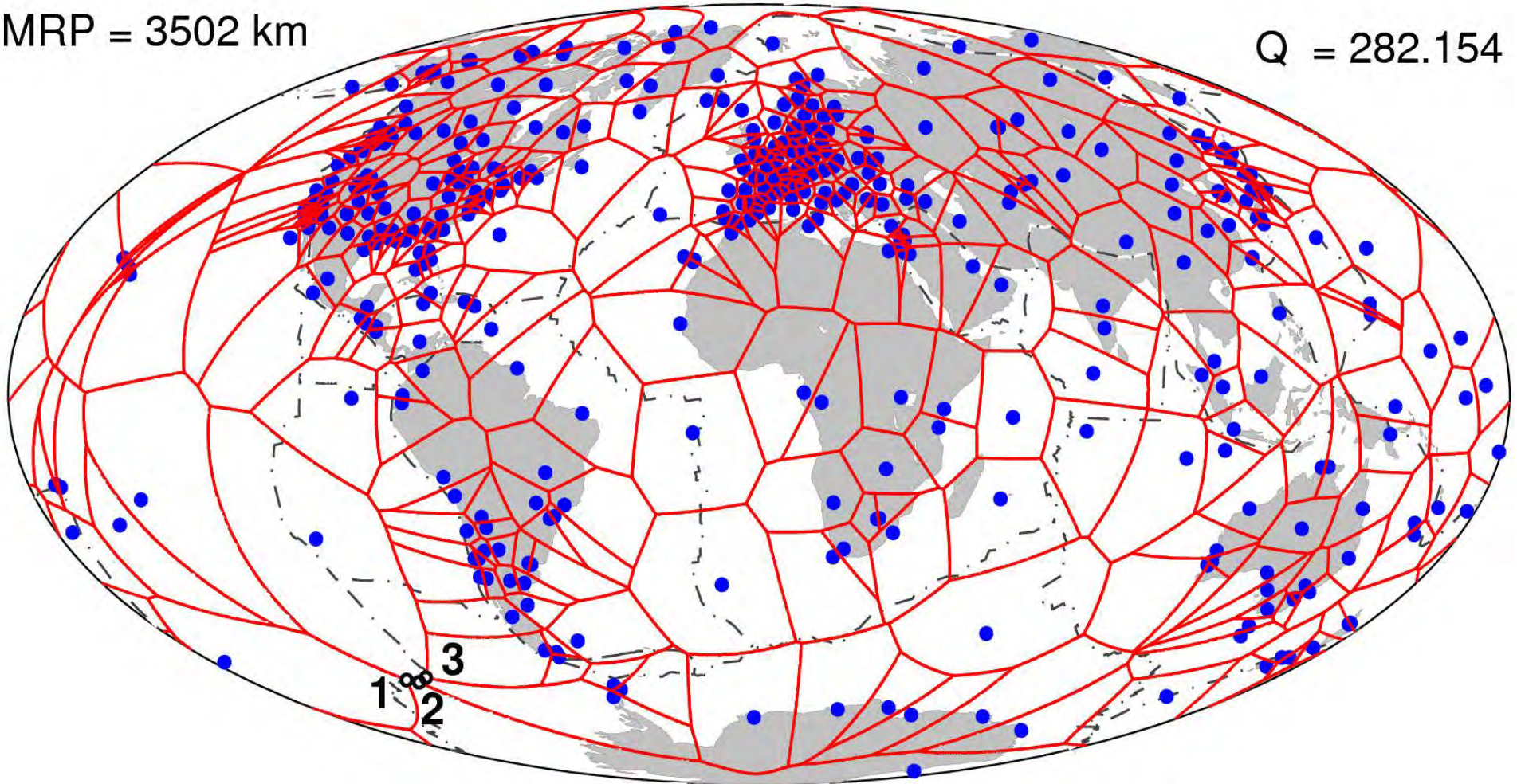




GNSS network current configuration (n=492)

MRP = 3502 km

Q = 282.154

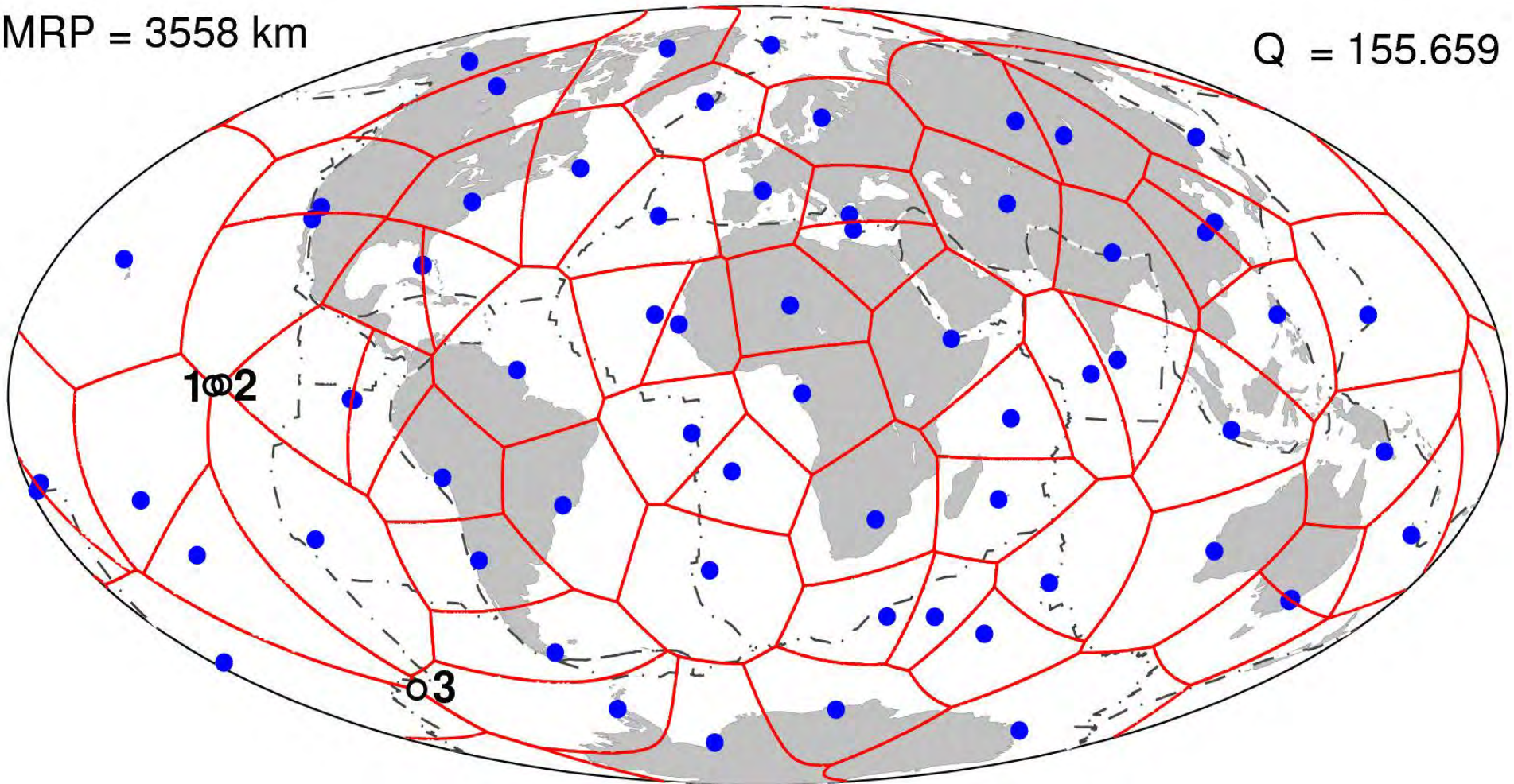




DORIS network current configuration (n=66)

MRP = 3558 km

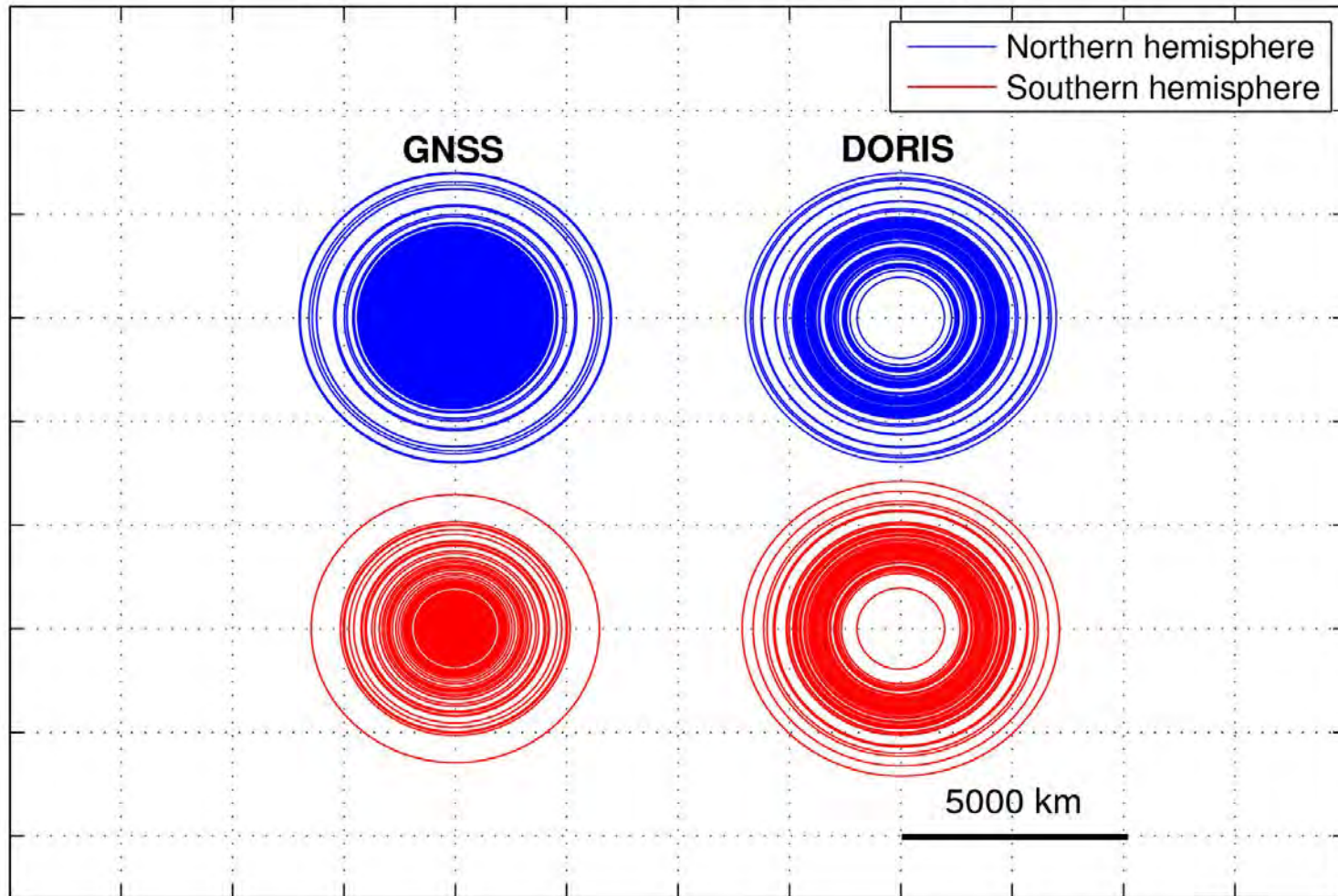
Q = 155.659





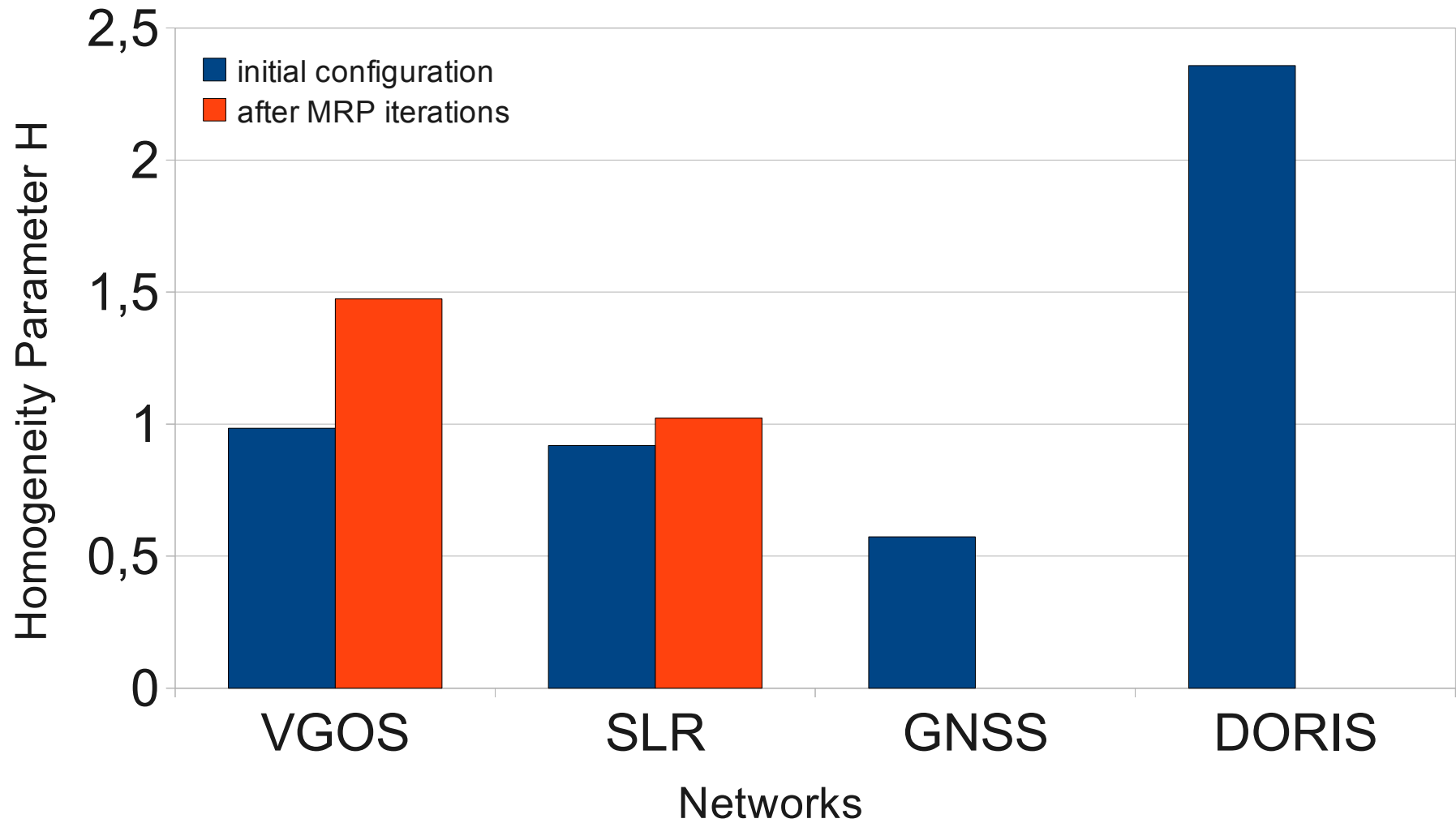
Radios de las circunferencias. GNSS vs. DORIS

MRP radii of GNSS and DORIS networks





Comparación de la Homogeneidad de las Redes Globales.





- El **método MRP** es una herramienta conveniente para **densificar de manera óptima redes de referencia geodésicas globales**.
- El método MRP **debería ser aplicado antes de realizar simulaciones** computacionales de parámetros geofísicos **en redes hipotéticas**, porque el método MRP permite construir una óptima distribución geométrica de puntos (con respecto a los sitios existentes) y reemplaza sus posiciones subjetivas por un cálculo fino y objetivo.
- Los **parámetros del mejoramiento I^r , I^Q** miden instantáneamente la razón de mejoramiento para la elección de un nuevo sitio y ayuda a dar preferencia entre sitios alternativos.
- El **parámetro de calidad Q** y el **parámetro de homogeneidad H** indican la homogeneidad de una red global.



Propuesta de las sitios GGOS adicionales por el método de MRP

Sitio	País	Técnica ausente
La Plata	AR	VGOS
Tahiti	FR	VGOS
O'Higgins	AQ	VGOS
Galapagos	EC	VGOS
Colombo	LK	VGOS, SLR
Syowa	AQ	VGOS
McMurdo	AQ	SLR
Fortaleza	BR	SLR
Ny Alesund	NO	SLR