
4

Diseño de la REGID-W

Para gestionar de manera remota los equipos GPS presentes en los vértices geodésicos de la REGID es necesario desplegar una red de comunicaciones que permita interactuar con ellos. Se va a diseñar una red inalámbrica que se denominará REGID-W y que estará basada en la tecnología IEEE 802.11b. Para ello habrá que adaptarla a la orografía del terreno y a la distribución de los vértices de la REGID, teniendo en cuenta las limitaciones que impone un escenario como Isla Decepción.

4.1 Descripción de la REGID-W

La red inalámbrica REGID-W estará basada en el protocolo IEEE 802.11b, será del tipo infraestructura contando con un único Punto de Acceso y múltiples clientes. Para mejorar la cobertura en la isla, es posible que sea necesaria la colocación de repetidores de este punto de acceso. Al punto de acceso se le denominará *Nodo principal* y a los eventuales repetidores *Nodos repetidores*.

Los clientes pueden ser de dos tipos: las estaciones GPS dotadas de equipos de comunicación inalámbrica, que conformarán los *Nodos periféricos*, o cualquier otro dispositivo compatible con el estándar IEEE 802.11b.

4.1.1 ¿Por qué IEEE 802.11b?

Se ha optado por la tecnología 802.11b por ser la que mejor se adapta a las necesidades de la REGID-W:

- La velocidad requerida no tiene que ser elevada, pues está limitada por los puertos serie de los GPS.
- Se necesita cubrir distancias media, por lo que se deben minimizar las pérdidas, aunque no es necesario pensar en una red de distribución tipo MAN¹.
- Aunque el entorno está, en teoría, radioeléctricamente limpio, la utilización de la banda libre de 2,4 GHz minimiza las interferencias con los equipos de mediciones presentes en la isla.

4.1.2 Arquitectura de la REGID-W

Dado el carácter centralizado de la REGID-W, se desplegará una red en modo infraestructura, constituida por los nodos que a continuación se exponen.

4.1.2.1 *Nodo principal*

El *Nodo principal* es el centro de toda la red. Será el encargado de dar servicio a los *Nodos periféricos* y a los eventuales *Nodo repetidores* que pudieran existir en su zona de cobertura.

Estará equipado con un router inalámbrico que actuará como Punto de Acceso y de una antena omnidireccional de gran ganancia, para ampliar al máximo su zona de cobertura. Este equipo debe gestionar todas las comunicaciones de la red y asignar las direcciones IP dinámicas.

En el apartado 5.3.1 puede consultarse un detallado esquema de montaje de este nodo.

¹ *Metropolitan Area Network*

4.1.2.2 *Nodos periféricos*

Los *Nodos periféricos* son los principales clientes de la red. Estarán enlazados al *Nodo principal* o a un *Nodo repetidor* y permitirán interactuar con los equipos GPS. Para ello, estarán dotados de un equipo servidor de puerto serie que se conectará vía RS-232 con los receptores GPS y una antena direccional de tipo parabólico de gran ganancia.

En el apartado 5.3.1 puede consultarse un detallado esquema de montaje de este nodo.

4.1.2.3 *Nodos repetidores*

Los *Nodos repetidores* pueden replicar la señal emitida por el *Nodo principal*, ampliando así las zonas de cobertura de este. Lógicamente, es necesario que el *Nodo repetidor* se encuentre en una zona cubierta por el *Nodo principal*.

Los *Nodos repetidores* estarán equipados con un router inalámbrico trabajando como punto de acceso con el modo WDS activado y, según su ubicación y las necesidades de comunicación, una antena omnidireccional o una antena sectorial.

Aquellos *Nodos periféricos* que coincidan en su ubicación con un *Nodo repetidor* podrán conectarse directamente a éstos mediante un cable de red ethernet, eliminando así la necesidad de una antena adicional.

Hay que tener en cuenta que aunque no existe una limitación en cuanto al número máximo de repetidores que pueden instalarse, el ancho de banda máximo disponible en el *Nodo repetidor* será compartido entre todos sus clientes, dando como resultado una disminución del ancho de banda disponible para los clientes finales.

En el apartado 5.3.3 puede consultarse un detallado esquema de montaje de este nodo.

4.1.2.4 Otros clientes

La red está diseñada de modo que cualquier equipo compatible con el estándar IEEE 802.11b, que se encuentre en las zonas de cobertura, se pueda conectar a ella de modo inalámbrico.

Al mismo tiempo, los routers inalámbricos utilizados en el *Nodo principal* y en los *Nodos repetidores* presentan una interfaz ethernet, permitiendo una eventual conexión cableada a la misma.

4.1.2.5 Esquema de la REGID-W

A continuación se muestra un esquema de la arquitectura de la REGID-W, donde se muestran el *Nodo Principal*, tres *Nodos Periféricos* y un *Nodo Repetidor*.

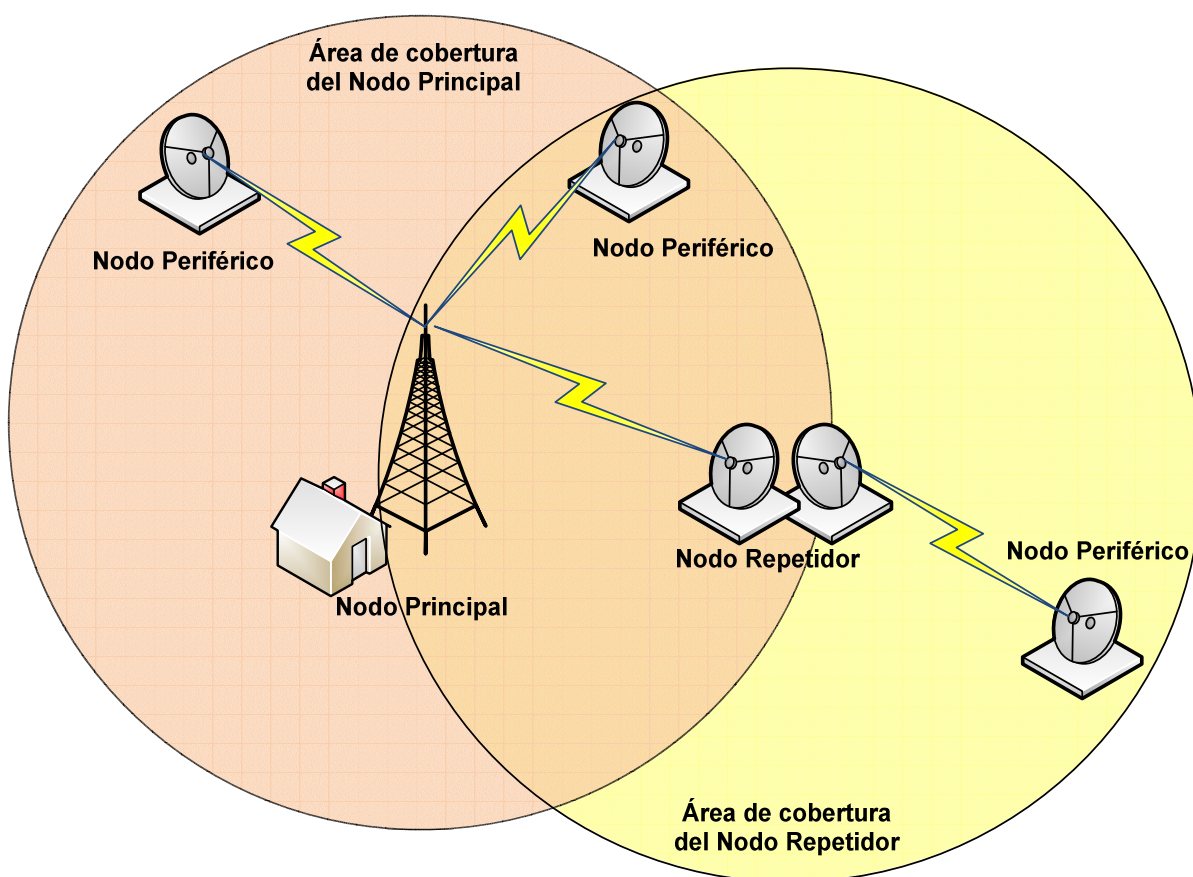


Figura 4.1: Esquema de la REGID-W

4.2 Estudio de Visibilidad

Se utilizará para este estudio un modelo digital de elevaciones a partir de un levantamiento fotogramétrico realizado en la campaña antártica 89/90 por el Servicio Geográfico del Ejército Español. Se trata de un modelo de tipo ráster de matrices regulares cuadradas de 2,5 metros.

Se analizarán las zonas de visibilidad desde todos los vértices de la REGID. Para ello, se hará uso de la aplicación ArcMap del paquete ArcGIS 9.0, en concreto la herramienta *Viewshed* de la extensión *Spatial Analyst*.

Se han configurado los vértices de la REGID de modo que para este estudio, el punto observador esté situado a 2 metros sobre el terreno, y los puntos observados se encuentren a 1 metro sobre el terreno.

Dada la naturaleza digital del modelo, y los posibles errores en la precisión que ello supone, el estudio no puede considerarse concluyente para ciertos vértices, debido a que en el punto concreto del vértice la herramienta indica que no existe visibilidad, sin embargo si existen áreas cubiertas en puntos cercanos al mismo.

En el Anexo A se incluye un mapa detallado de Isla Decepción a escala 1:25.000, elaborado por el Centro Geográfico del Ejército con la colaboración de la Universidad de Cádiz, que puede ayudar al lector a ubicar los topónimos utilizados en las próximas secciones.

4.2.1 Visibilidad desde Colatinas

Desde *Colatinas* (COLA) existe visibilidad directa con los vértices de la costa Oeste UCA1, de la costa Norte BOMB y CR70 y de la costa Este GLAN y BALL.

Las elevaciones al Sureste de BEGC impiden la visualización de BARG y FUMA. *Cross Hill* oculta TELE y el *Cerro Crimson* oculta PEND.

Los resultados del estudio para los vértices GEOD y BEGC no son concluyentes.

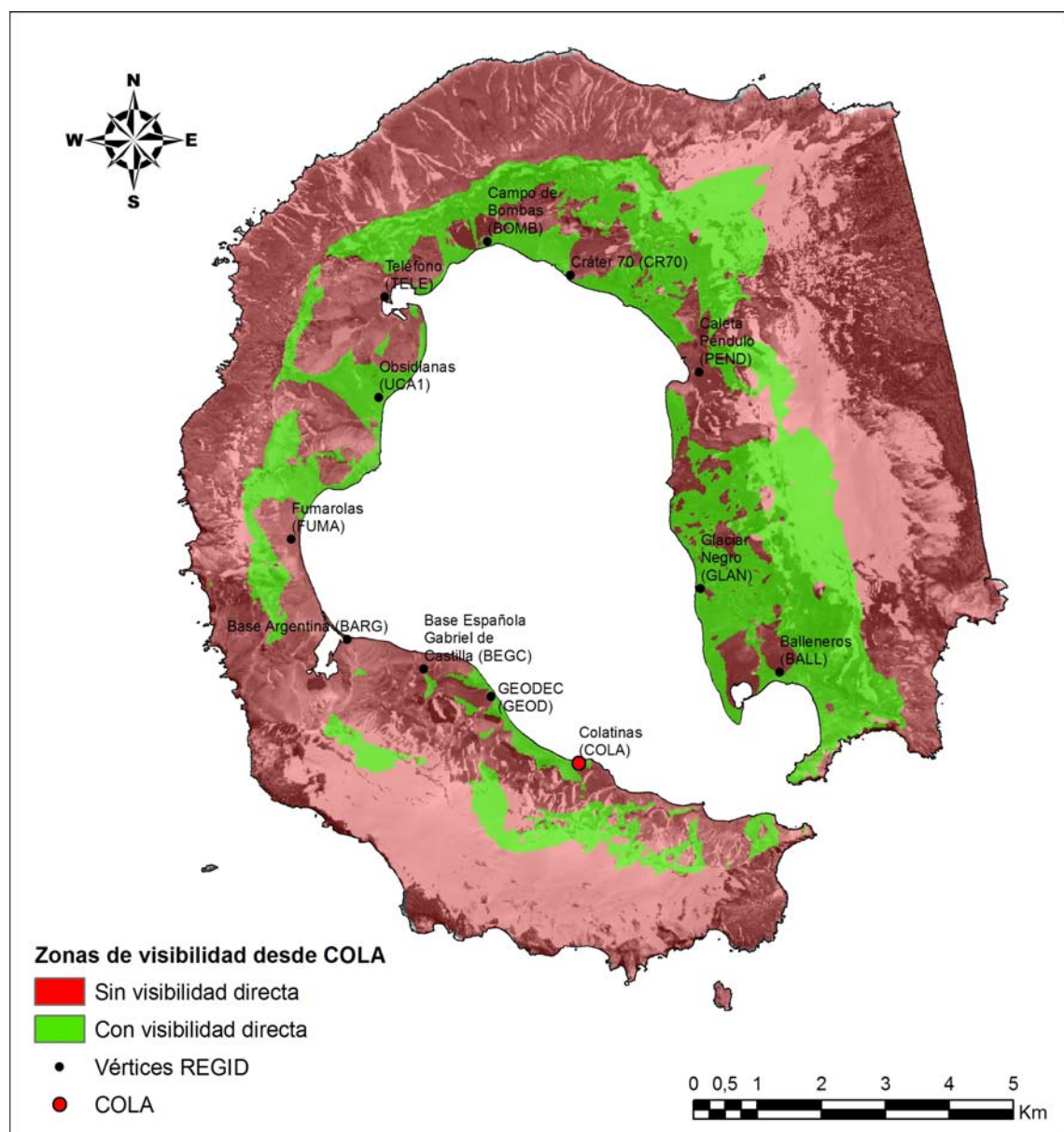


Figura 4.2: Estudio de visibilidad desde COLA

4.2.2 Visibilidad desde GEODEC

Desde el vértice GEODEC (GEOD) existe visibilidad directa con los vértices de la costa Oeste UCA1, de la costa Norte BOMB y CR70 y de la costa Este GLAN.

Las elevaciones al Sureste de BEGC impiden la visualización de BEGC, BARG y FUMA. *Cross Hill* oculta TELE y *Cerro Crimson* oculta PEND. La elevación junto al *Lago Kroner* oculta BALL.

Los resultados del estudio para el vértice COLA no son concluyentes.

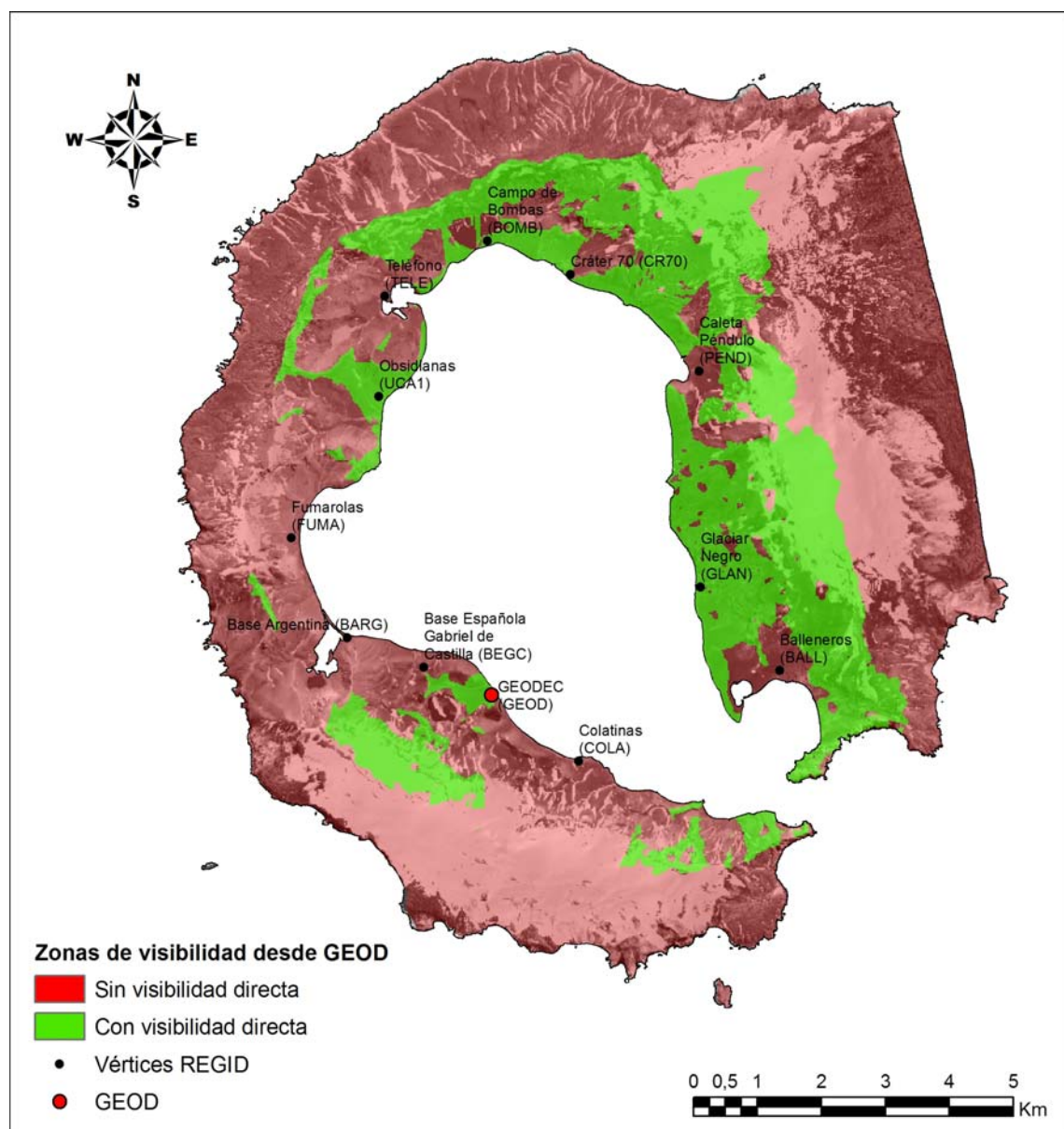


Figura 4.3: Estudio de visibilidad desde GEOD

4.2.3 Visibilidad desde Base Española Gabriel de Castilla

Desde el vértice junto a la *Base Española Gabriel de Castilla* (BEGC) existe visibilidad directa con los vértices de la costa Oeste FUMA y UCA1, de la costa Norte BOMB y CR70 y de la costa Este GLAN.

Las elevaciones al Sureste de BEGC impiden la visualización de toda la región Sureste de la isla, incluyendo los vértices COLA, GEOD y BALL, mientras que *Cross Hill* oculta TELE y el *Cerro Crimson* oculta PEND.

Los resultados del estudio para el vértice de BARG no son concluyentes.

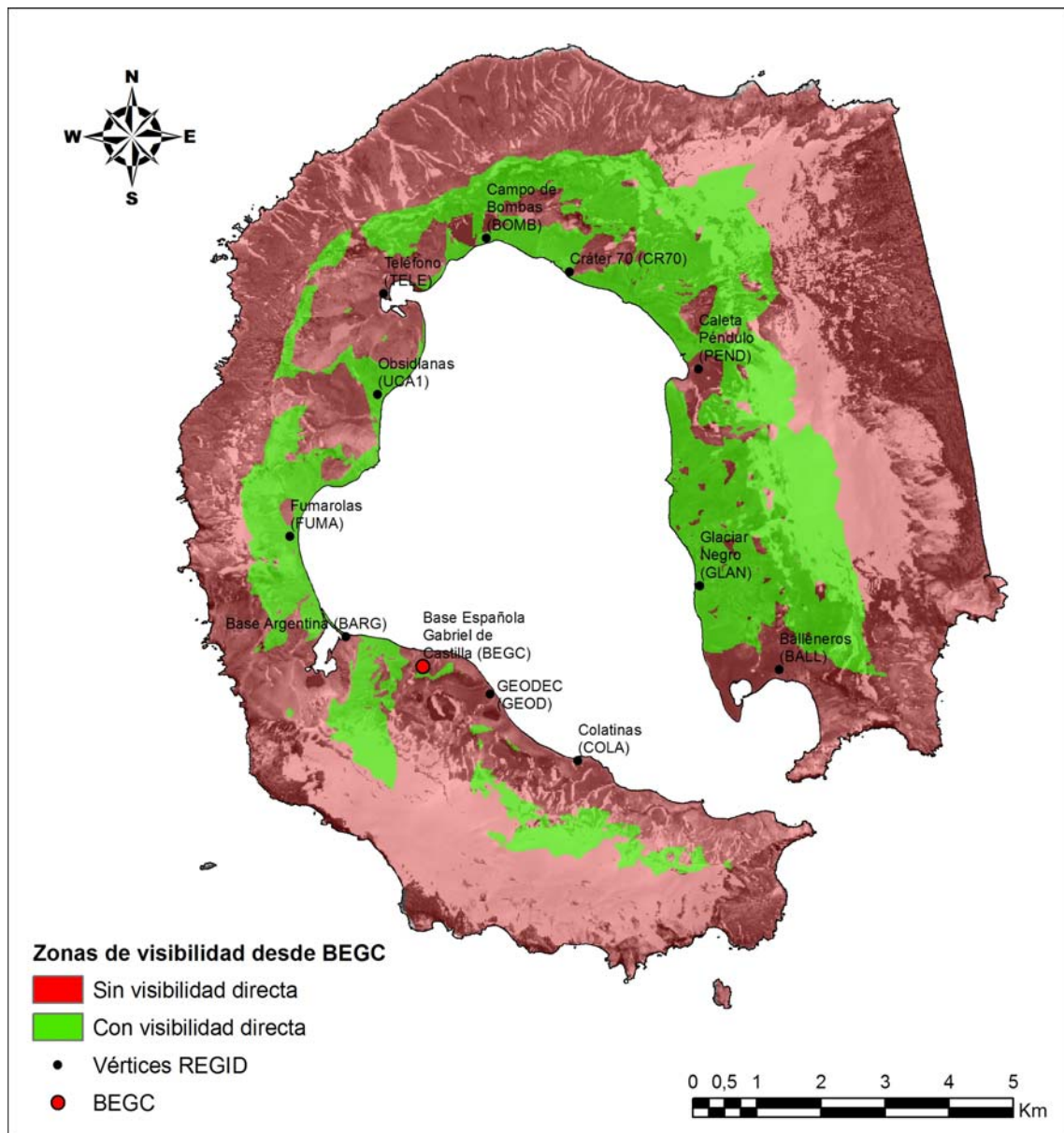


Figura 4.4: Estudio de visibilidad desde BEGC

4.2.4 Visibilidad desde Base Argentina

Desde la *Base Argentina* (BARG) existe visibilidad directa con los vértices de la costa Oeste FUMA, de la costa Norte BOMB y CR70 y de la costa Este GLAN.

Las estribaciones del *Cerro de la Cruz* y las elevaciones al Sureste de BEGC ocultan toda la región Sur de la isla, incluyendo los vértices COLA, GEOD, BEGC y BALL. La elevación junto a *Punta Murature* impide la visualización del vértice UCA1, mientras que *Cross Hill* oculta TELE y el *Cerro Crimson* oculta PEND.

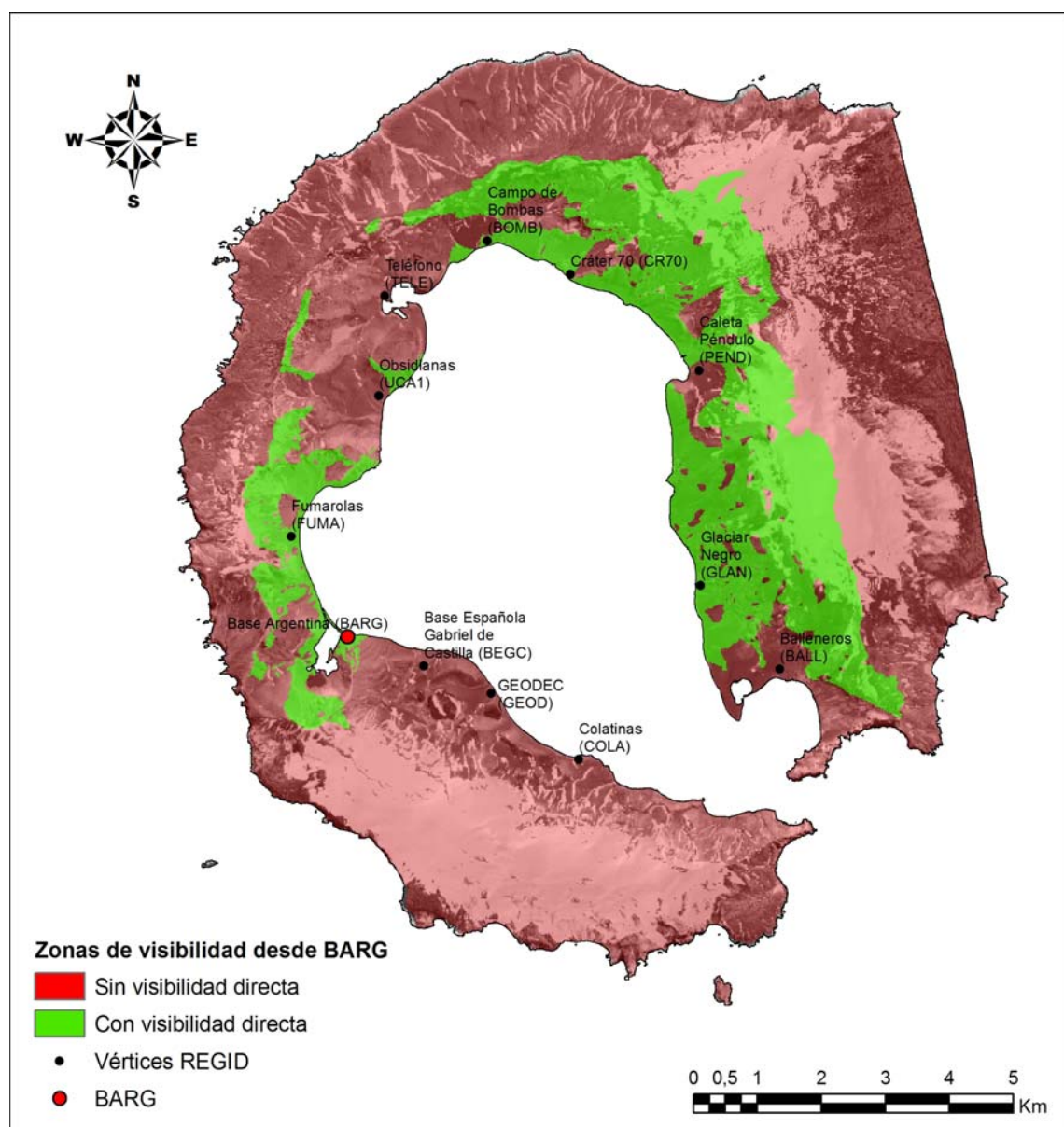


Figura 4.5: Estudio de visibilidad desde BARG

4.2.5 Visibilidad desde Fumarolas

Desde el vértice en la *Bahía Fumarolas* (FUMA) existe visibilidad directa con los vértices de la costa Sur BEGC y BARG y con los de la costa Este PEND y GLAN.

Las elevaciones al Sureste de BEGC impiden la visualización de los vértices COLA y GEOD, y la elevación junto a *Punta Murature* oculta UCA1 y CR70. Los vértices de TELE y BOMB tampoco son visibles al quedar ocultos tras *Cross Hill*, y el vértice BALL queda tras el *Cerro Ronald*.

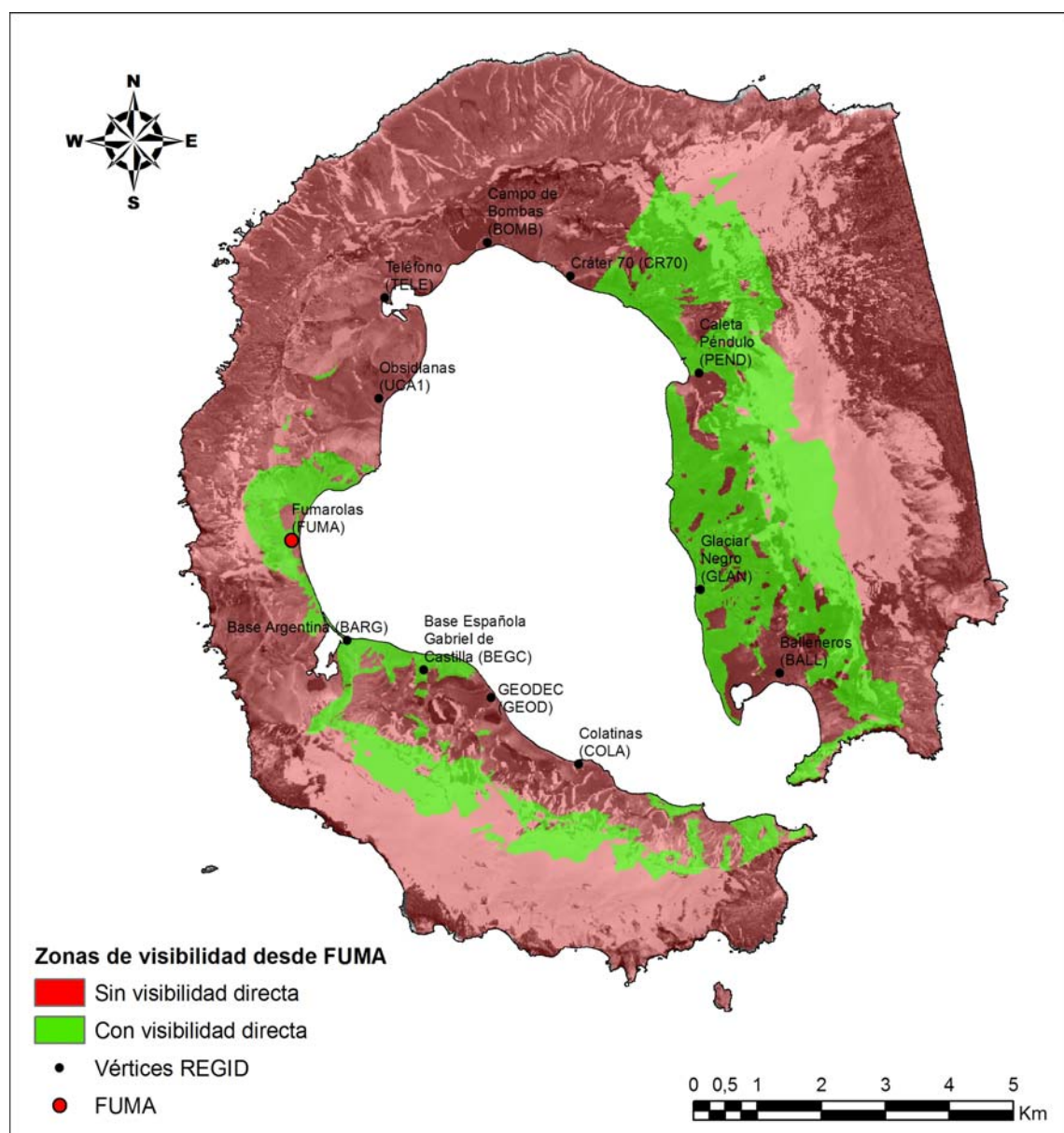


Figura 4.6: Estudio de visibilidad desde FUMA

4.2.6 Visibilidad desde Obsidianas

Desde el vértice de la Bahía Obsidianas (UCA1) existe visibilidad directa con los vértices de la costa Sur COLA, GEOD y BEGC y con los de la costa Este PEND y GLAN.

La elevación junto a *Punta Murature* impide la visualización de BARG y FUMA, mientras que *Cross Hill* oculta TELE, BOMB y CR70. El vértice BALL queda oculto tras el *Cerro Ronald*.

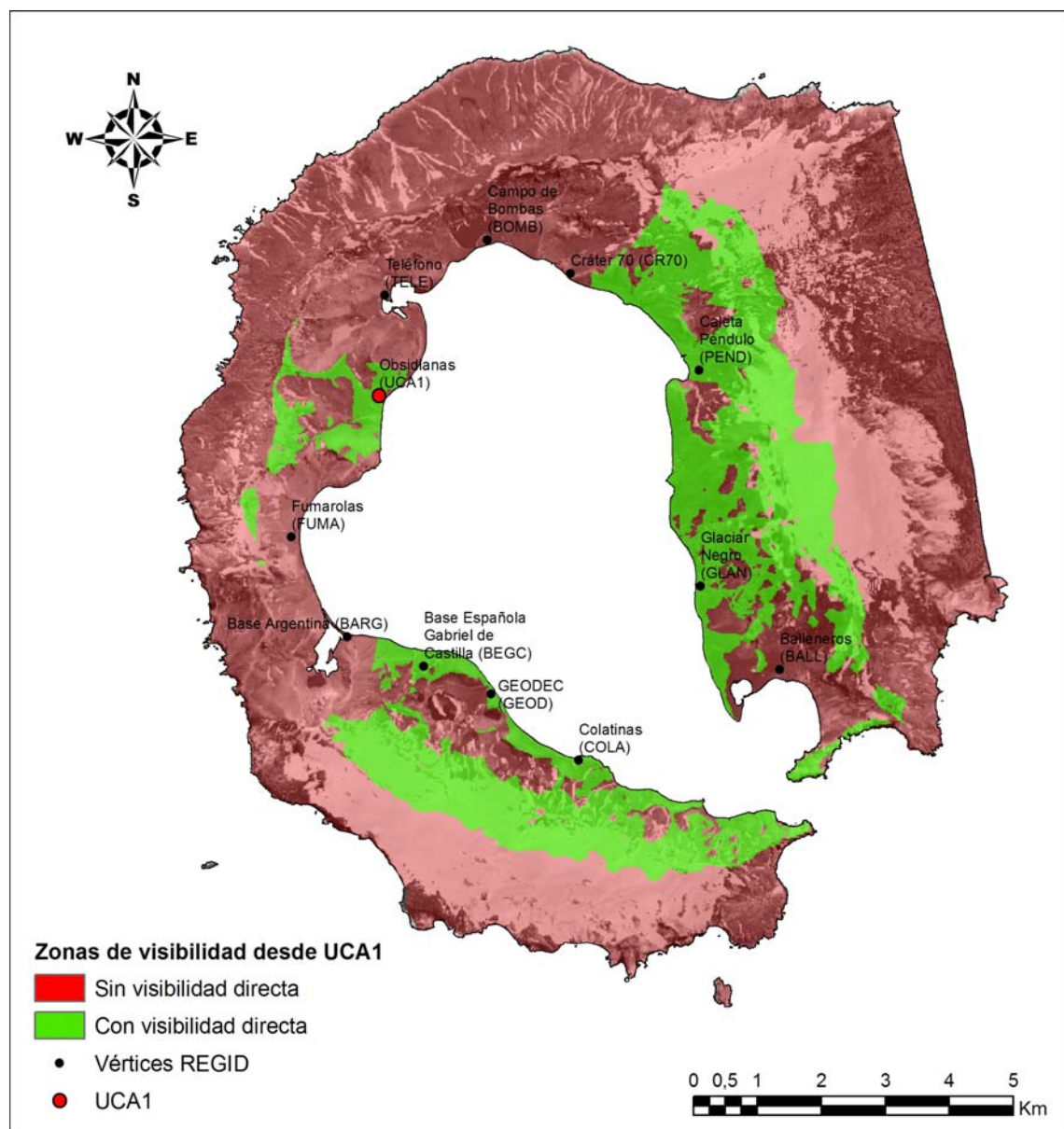


Figura 4.7: Estudio de visibilidad desde UCA1

4.2.7 Visibilidad desde Teléfono

El vértice situado junto a la *Bahía Teléfono* (TELE) es el que presenta la menor zona de visualización, no siendo visible desde ningún otro vértice de la REGID, aunque los resultados del estudio para el vértice PEND no son concluyentes.

Cross Hill oculta prácticamente toda la isla, incluyendo los vértices COLA, GEOD, BEGC, BARG, FUMA, UCA1, GLAN y BALL. A la misma vez, las elevaciones al Norte del vértice ocultan los vértices de la costa Norte BOMB y CR70.

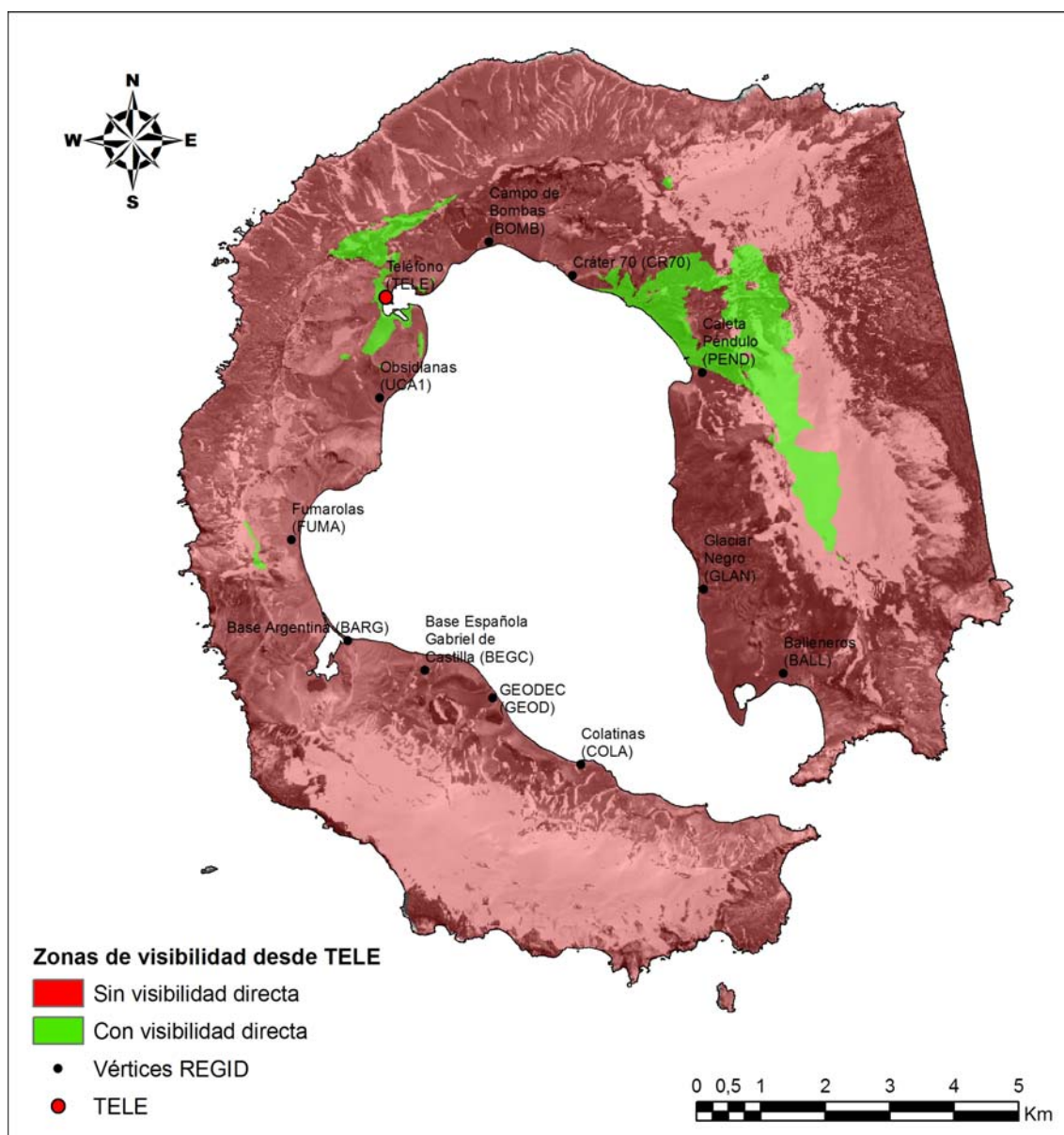


Figura 4.8: Estudio de visibilidad desde TELE

4.2.8 Visibilidad desde Campo de Bombas

Desde el vértice de *Campo de Bombas* (BOMB) existe visibilidad directa con los vértices de la costa Sur COLA, GEOD, BEGC y BARG, de la costa Norte CR70, de la costa Este PEND y GLAN.

Los vértices de la costa Oeste FUMA y UCA1 quedan ocultos por *Cross Hill*, mientras que el *Cerro Ronald* oculta BALL.

Los resultados del estudio para el vértice de TELE no son concluyentes.

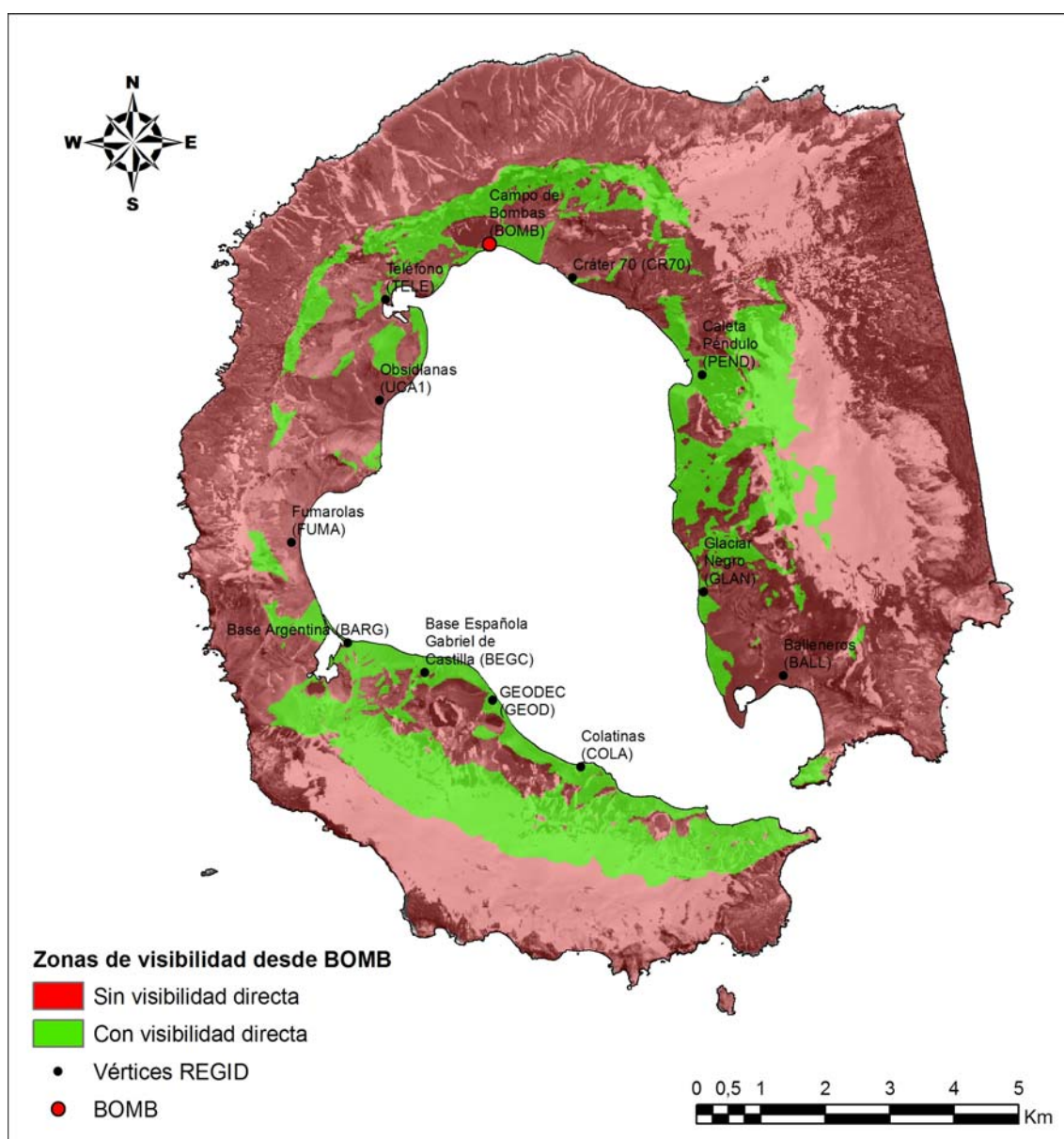


Figura 4.9: Estudio de visibilidad desde BOMB

4.2.9 Visibilidad desde Cráter 70

Desde el vértice en la región de *Cráteres del 70* (CR70) sólo existe visibilidad directa con los vértices de la costa Sur GEOD, BEGC y BARG.

La elevación junto a *Punta Murature* oculta el vértice FUMA, y la elevación al Este del vértice impide la visualización de los vértices COLA, PEND, GLAN y BALL.

Los resultados del estudio para los vértices UCA1, TELE y BOMB no son concluyentes.

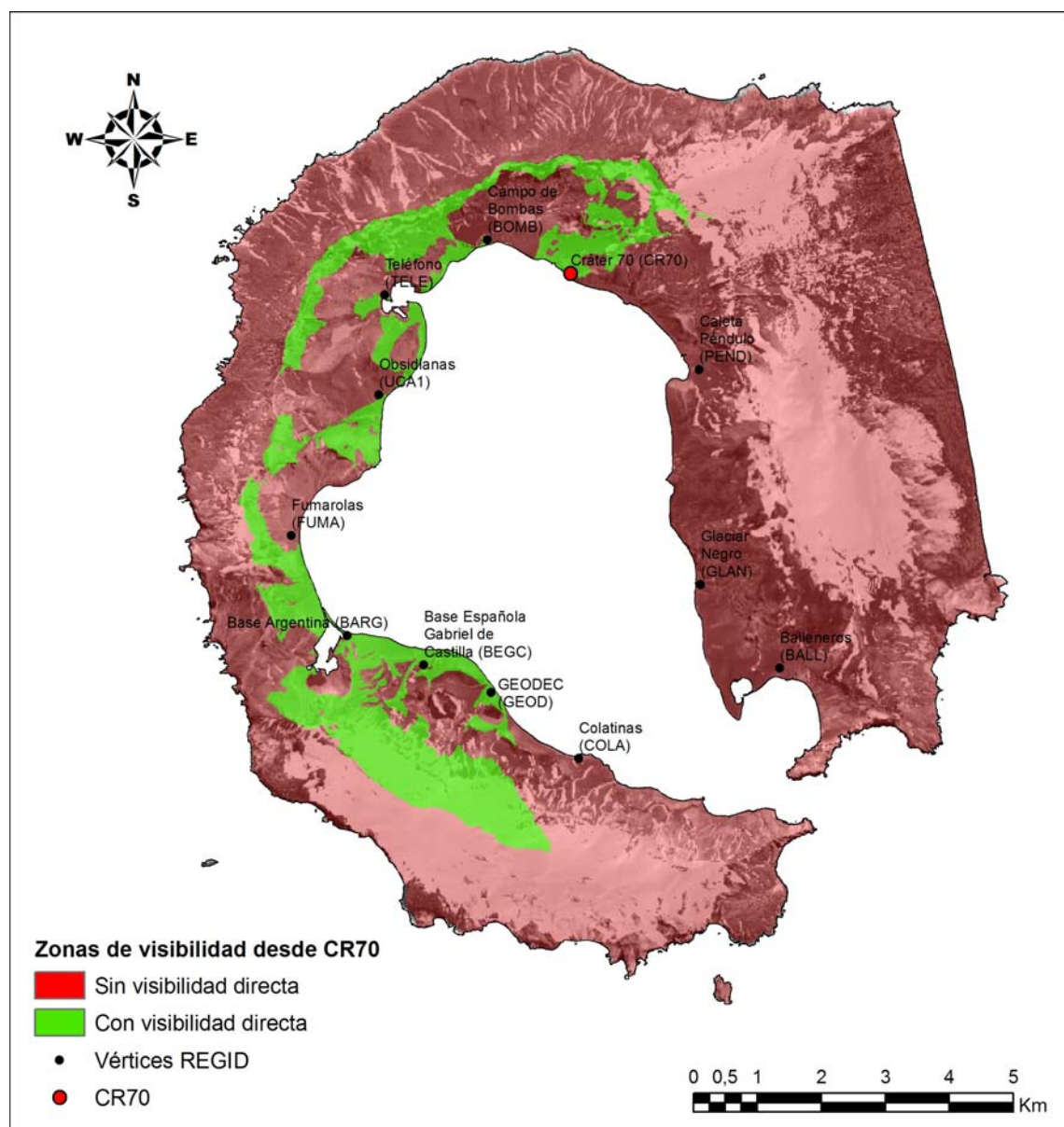


Figura 4.10: Estudio de visibilidad desde CR70

4.2.10 Visibilidad desde Caleta Péndulo

Desde el vértice de la *Caleta Péndulo* (PEND) sólo existe visibilidad directa con los vértices de la costa Oeste FUMA y UCA1 y de la costa Norte BOMB.

El *Cerro Crimson*, al Suroeste del vértice, oculta los vértices COLA, GEOD, BEGC y BARG, mientras que la región de los glaciares impide la visualización de los vértices GLAN y BALL.

Los resultados del estudio para TELE y CR70 no son concluyentes.

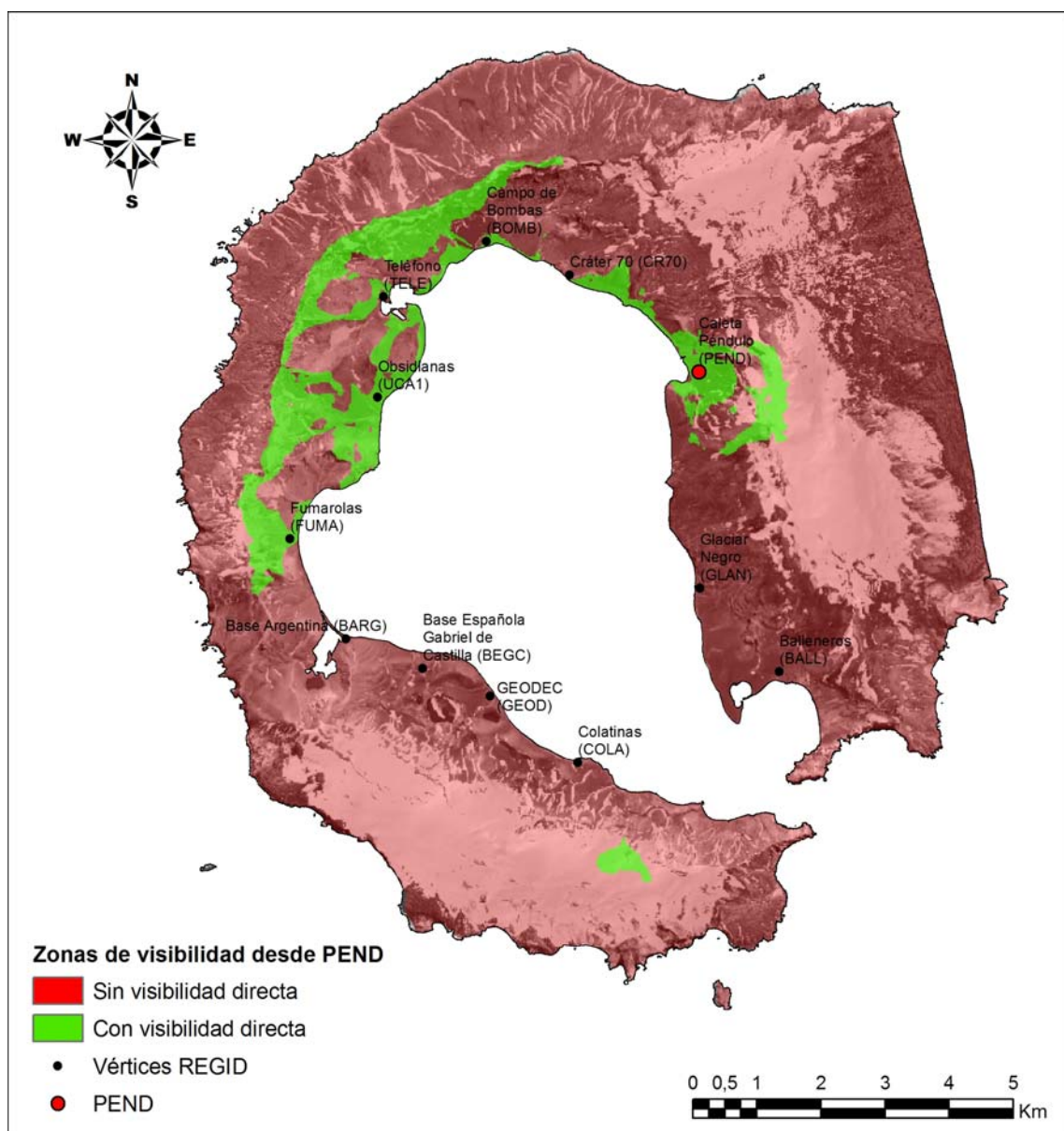


Figura 4.11: Estudio de visibilidad desde PEND

4.2.11 Visibilidad desde Glaciar Negro

Desde el vértice *Glaciar Negro* (GLAN) son visibles los vértices de la costa Sur GEOD, BEGC y BARG, lo de la costa Oeste FUMA y UCA1 y el vértice BOMB en la costa Norte.

La región de los glaciares oculta el vértice CR70, el *Cerro Crimson* el vértice PEND, mientras que el *Cerro Ronald* oculta el vértice BALL.

Los resultados del estudio para los vértices COLA y TELE no son concluyentes.

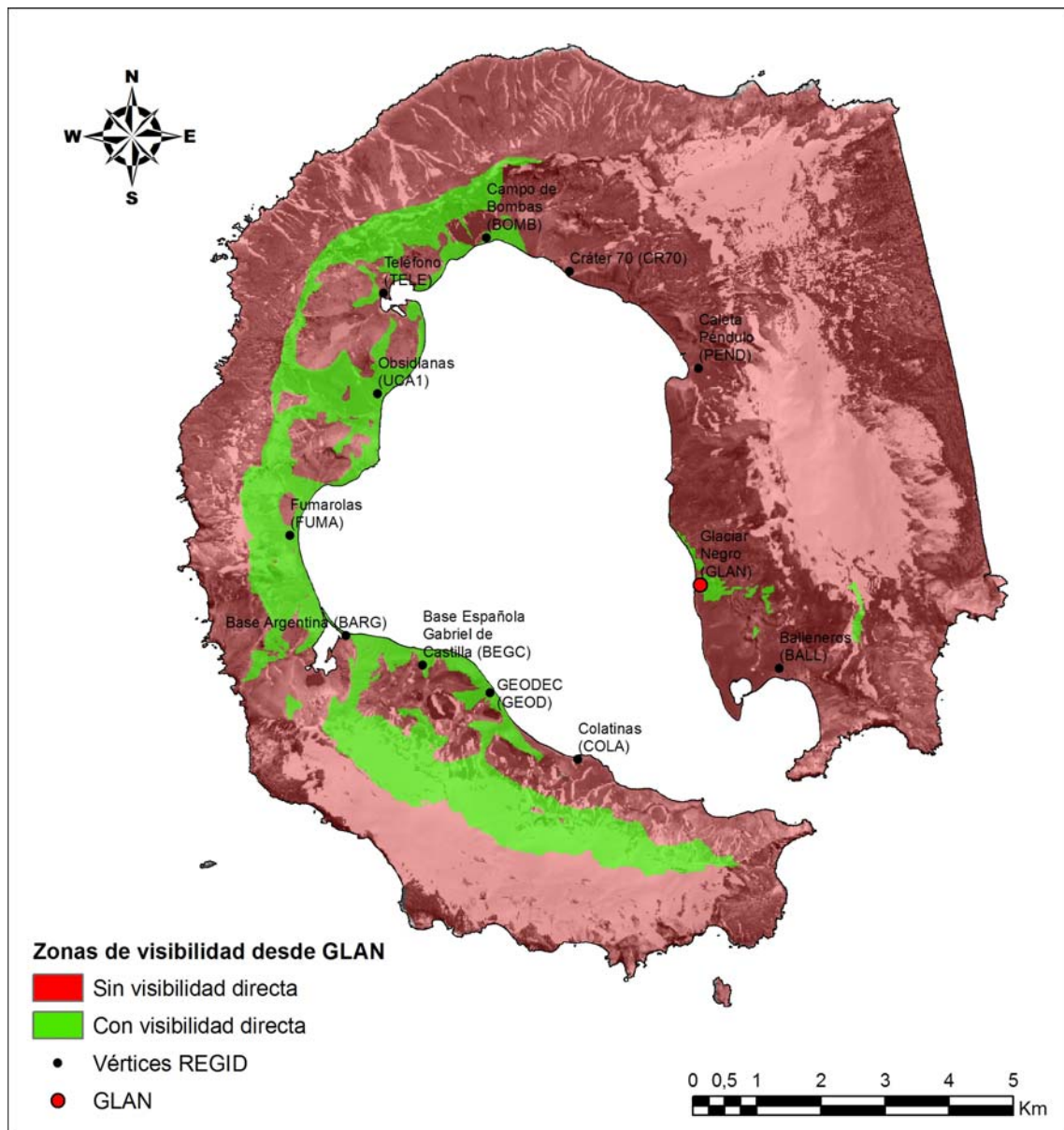


Figura 4.12: Estudio de visibilidad desde GLAN

4.2.12 Visibilidad desde Balleneros

El vértice situado en la *Bahía de Balleneros* (BALL) no es visible desde ningún otro vértice de la REGID, aunque el resultado del estudio para el vértice COLA no es concluyente.

La elevación junto al *Lago Kroner* hace que no sean visibles los vértices de la costa Sur GEOD, BEGC y BARG, y el *Cerro Ronald* oculta los vértices de las costas Oeste, Norte y Este FUMA, UCA1, TELE, BOMB, CR70, PEND y GLAN.

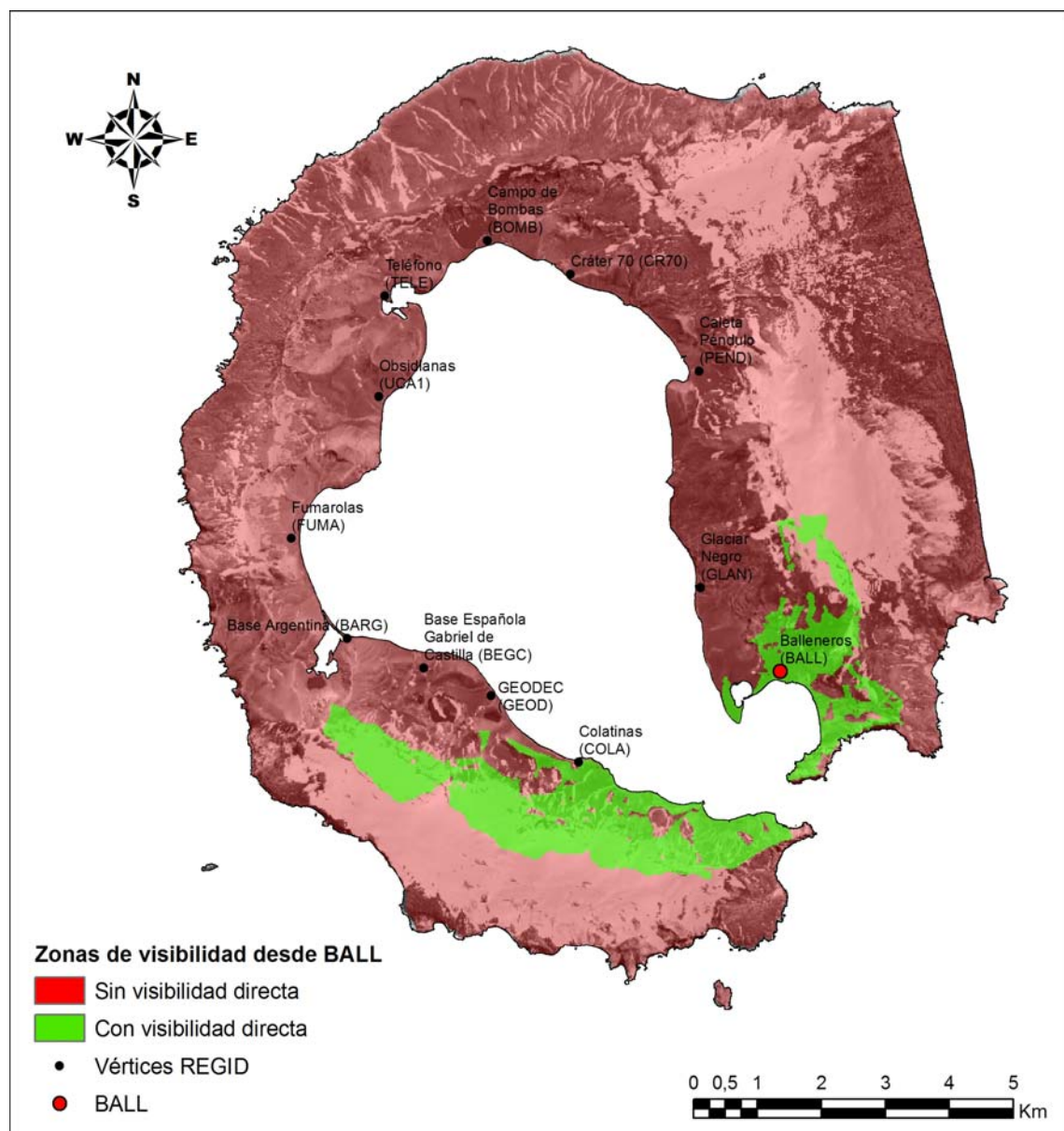


Figura 4.13: Estudio de visibilidad desde BALL

4.3 Emplazamiento de los nodos

Una vez conocidas las zonas de visibilidad desde los distintos vértices de la REGID se observa que es necesaria la utilización de *Nodos repetidores* que garanticen la cobertura en toda la isla, pues no existe ningún vértice desde el que sean visibles todos los demás.

Se definirán a continuación las ubicaciones óptimas para los nodos de la REGID-W y los radioenlaces resultantes.

4.3.1 Nodo principal en Base Española Gabriel de Castilla

El *Nodo principal* de la red estará ubicado en el vértice BEGC de la REGID, junto a la Base Española Gabriel de Castilla. Al ser este el centro de todas las actividades científicas españolas en Isla Decepción parece lógico que sea este el emplazamiento para el equipo central de la REGID-W.

Además, en este punto de la isla existen torres de comunicaciones que permitirán su colocación a una altura elevada con respecto al suelo, mejorando así su zona de visibilidad, y cuenta con alimentación eléctrica directa desde los generadores de la Base Española, lo que asegurará el continuo funcionamiento de la red.

En el estudio de visibilidad desde BEGC se comprobó que existe visibilidad directa sobre los vértices BARG, FUMA, UCA1, BOMB, CR70 y GLAN, quedando ocultos los vértices TELE, PEND, BALL, COLA y GEOD. Será necesario, por lo tanto, colocar *Nodos repetidores* que garanticen la cobertura sobre estos vértices.

4.3.2 Nodos periféricos en los vértices de la REGID

Los *Nodos periféricos* se situarán junto a los receptores GPS instalados en los vértices de la REGID, y compartirán con estos la alimentación eléctrica a través de baterías conectadas a paneles solares.

4.3.3 Nodos repetidores

Los *Nodos repetidores* deben colocarse en puntos de la isla que se encuentren dentro de la zona de cobertura del *Nodo principal* y de modo que permitan extender la cobertura a los vértices TELE, PEND, BALL, COLA y GEOD.

Para ello, se estudiarán dos opciones: ubicar los *Nodos repetidores* sobre vértices de la REGID, reutilizando así las infraestructuras existentes, o situarlos en aquellos puntos de la isla que minimicen el número de *Nodos repetidores* necesarios.

4.3.3.1 Emplazados en vértices de la REGID

Restringiendo las ubicaciones de los nodos repetidores a los vértices de la REGID, se deben buscar aquellos vértices desde los que se observe un mayor número de nodos y que minimicen las distancias tanto a BEGC como a dichos nodos, con el fin de reducir al máximo las pérdidas y retrasos de propagación.

Para cubrir los nodos de la costa Sur GEOD y COLA, se puede optar por ubicar un *Nodo repetidor* en UCA1 o en BOMB. Además, desde ambos vértices se podría cubrir la zona de PEND.

El emplazamiento en UCA1 es mejor al de BOMB en cuanto a que la distancia a BEGC es menor, lo que garantiza una mejor señal para retransmitir, y además, la distancia de los *Nodos periféricos* al *Nodo repetidor* también es menor.

Desde UCA1, los vértices de PEND y BEGC forman aproximadamente unos 90°, por lo que podría utilizar una antena sectorial de 90° o 120° para garantizar una correcta cobertura sobre GEOD, COLA, GLAN y PEND.

Sólo faltaría entonces garantizar la cobertura en los dos vértices más ocultos, TELE y BALL, para lo que harían falta dos nuevos *Nodos repetidores*.

Para cubrir TELE se requiere un *Nodo repetidor* en PEND, y se puede utilizar una única antena sectorial de 30° que cubra los vértices de UCA1 y TELE.

Para cubrir BALL es necesario un *Nodo repetidor* en COLA con una antena parabólica orientada hacia UCA1 y una antena sectorial orientada hacia BALL.

Quedaría por tanto la red constituida por un *Nodo principal* en el vértice BEGC, tres *Nodos repetidores* en los vértices UCA1, PEND y COLA, y ocho *Nodos periféricos* en el resto de vértices de la REGID, y los siguientes radioenlaces:

- Desde el *Nodo principal* de BEGC a los *Nodos periféricos* de BARG, FUMA, BOMB, CR70 y GLAN, y al *Nodo repetidor* de UCA1.
- Desde el *Nodo repetidor* de UCA1 al *Nodo periférico* de GEOD, y a los *Nodos repetidores* de COLA y PEND.
- Desde el *Nodo repetidor* de COLA al *Nodo periférico* de BALL.
- Desde el *Nodo repetidor* de PEND al *Nodo periférico* de TELE.

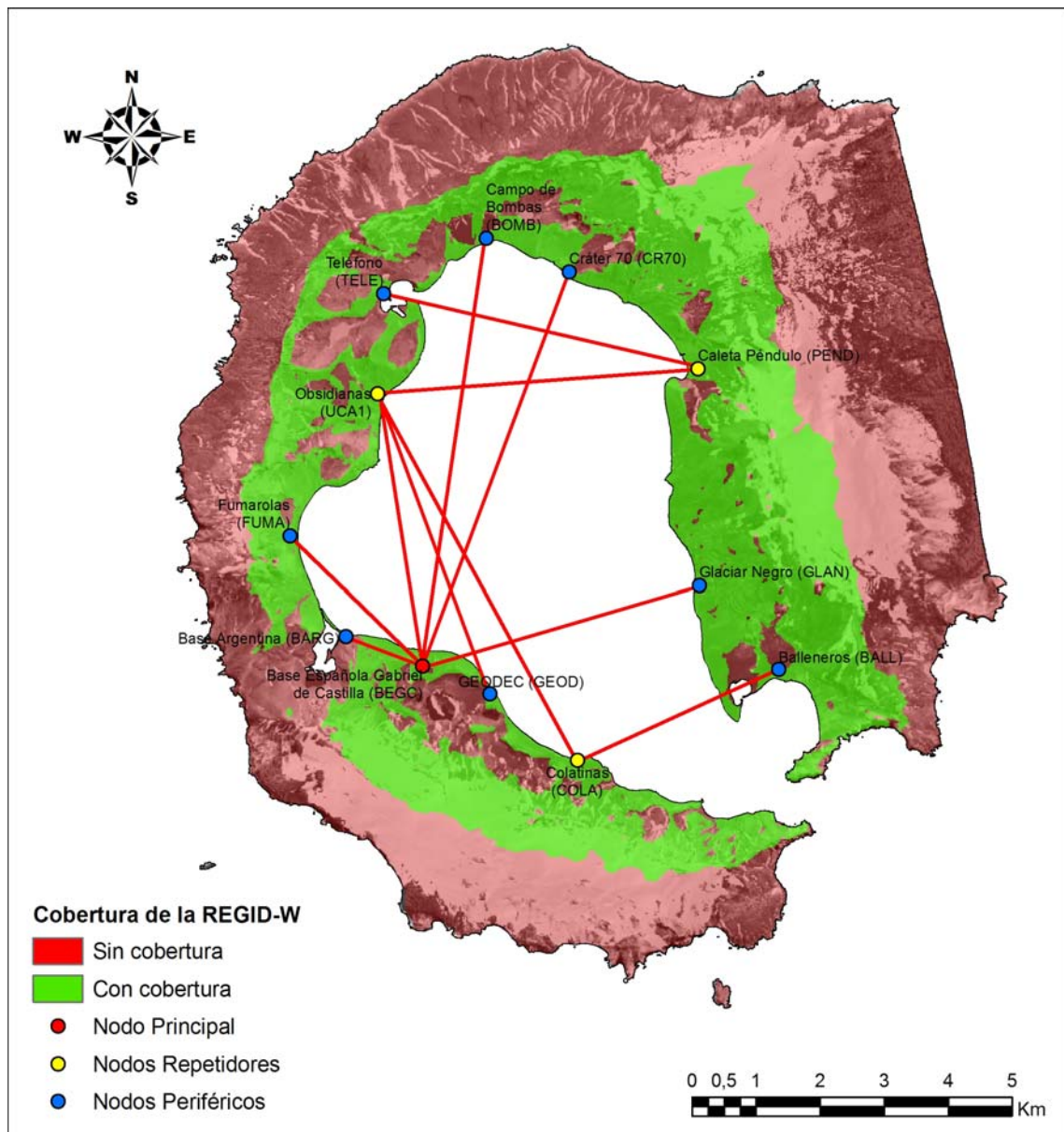


Figura 4.14: Cobertura con Nodos repetidores en vértices de la REGID

4.3.3.2 Emplazados fuera de los vértices de la REGID

Se plantea ahora la posibilidad de reducir el número de *Nodos repetidores* necesario emplazando estos fuera de los vértices de la REGID. El objetivo es alcanzar los vértices no cubiertos por BEGC (COLA, GEOD, TELE, PEND y BALL) utilizando a lo sumo dos *Nodos repetidores*.

Recurriendo de nuevo al modelo digital del terreno, mediante la herramienta *Observer Points* de la extensión *Spatial Analyst*, se elabora un estudio tal que, para cada punto de la isla visible desde BEGC, indique cuales de los vértices anteriores son visibles, con el fin de encontrar cuales son los puntos óptimos, dentro de la zona de cobertura de BEGC, para la ubicación de los *Nodos repetidores*.

La primera conclusión que se extrae de los resultados obtenidos es que no existe ningún punto de la isla, dentro de la zona de cobertura de BEGC, desde el que se puedan observar estos cinco vértices.

En vista de estos resultados, se hace necesaria la utilización de, al menos, dos *Nodos Repetidores*, por lo que parece lógico agrupar por un lado los vértices de la costa Norte TELE y PEND y otro lado los de la costa Sur COLA, GEOD y BALL.

Se realiza un nuevo estudio, esta vez con la herramienta *Map Algebra* de la extensión *Spatial Analyst* y los estudios de visibilidad realizados anteriormente, calculando aquellos puntos dentro del área de cobertura del *Nodo Principal* desde los cuales se pueden visualizar los vértices de la costa Norte y los vértices de la costa Sur.

Para la región Norte se pueden diferenciar tres zonas de visibilidad común: en la *Cresta Teléfono* al Norte de TELE, en la costa Norte entre los vértices CR70 y PEND y al Sureste de PEND, en la ladera Norte del *Monte Pond*.

Para la región Sur también se pueden diferenciar tres zonas de visibilidad común: en el *Monte Irizar* al Sur de BEGC, en las estribaciones hacia el Este del *Monte Kirkwood* y al Norte de BALL en las laderas Sur del *Monte Pond*.

Todas las zonas obtenidas tienen en común una elevada altitud, lo que supone un factor negativo a la hora de decidir instalar allí los *Nodos periféricos*, ya que aumenta el riesgo de daños por nieve y se dificulta el acceso a ellos para la realización de tareas de mantenimiento.

Con este estudio se ha demostrado que se podría eliminar un *Nodo repetidor* en relación a los necesarios al ubicarlos en los vértices de la REGID, sin embargo, sería necesario instalar nuevas baterías y paneles solares en zonas elevadas y de difícil acceso, por lo que se descarta esta opción y se recomienda la instalación de los *Nodos repetidores* en los propios vértices de la REGID.

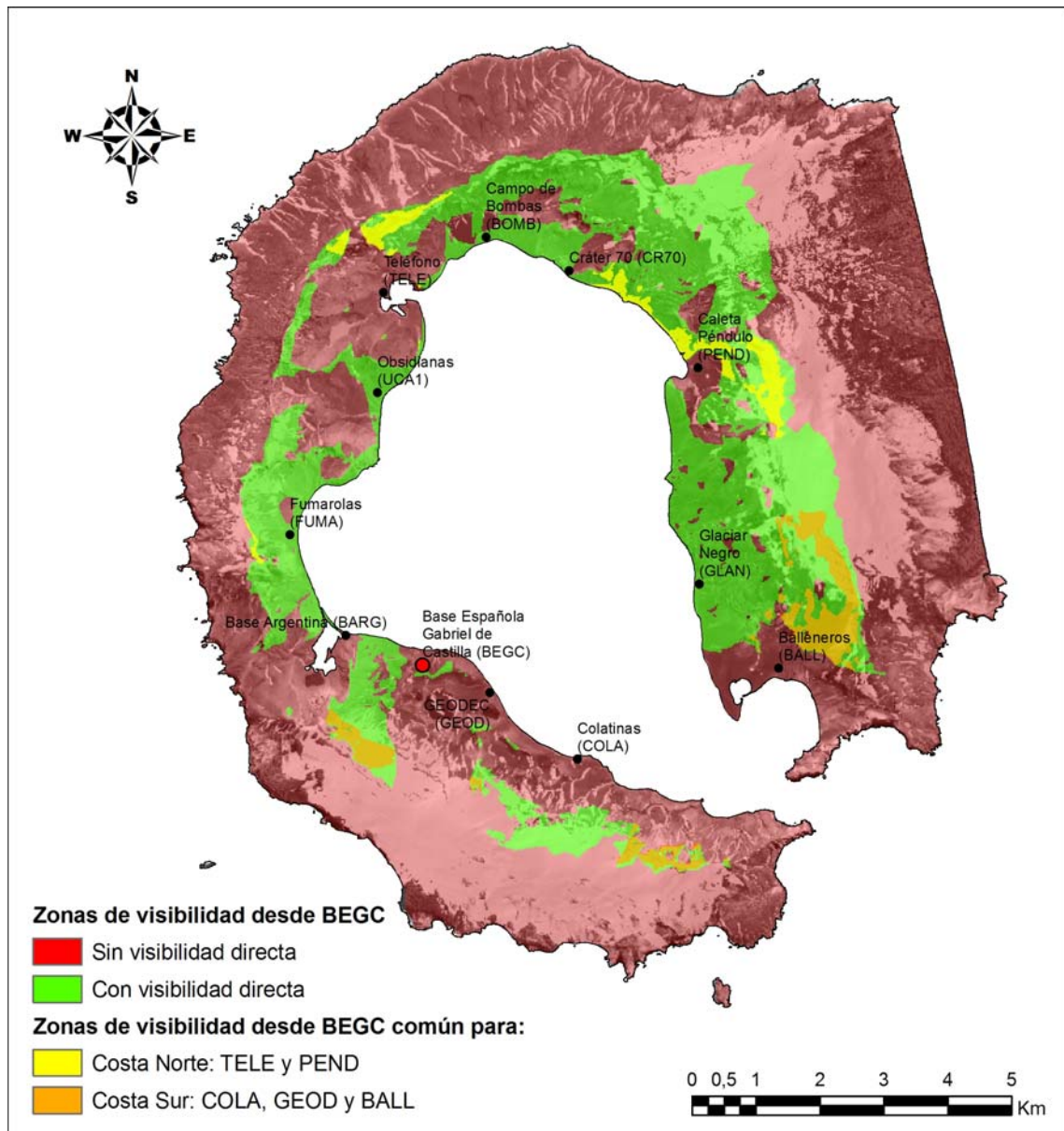


Figura 4.15 Estudios de visibilidad para la ubicación de Nodos repetidores

4.4 Cálculo de las pérdidas de propagación

La propagación de las ondas electromagnéticas puede estudiarse a partir de las ecuaciones de Maxwell, analizando las soluciones compatibles con las condiciones de contorno que imponga el medio. Sin embargo, tal estudio riguroso es a veces impracticable y en todo caso muy complejo, por lo que para la predicción de pérdidas de propagación se utilizan modelos simplificados basados en la óptica geométrica.

Se realiza a continuación una estimación de las pérdidas básicas de propagación y de las pérdidas por difracción en obstáculos para los radioenlaces a establecer en la REGID-W, analizando para ello los perfiles del terreno obtenidos del modelo digital.

4.4.1 Pérdidas básicas de propagación

Según la *fórmula de Friss*², las pérdidas básicas de propagación son función directa de la distancia del radioenlace y de la frecuencia de transmisión:

$$L_b \text{ (dB)} = 32,45 + 20 \cdot \text{Log } f \text{ (MHz)} + 20 \cdot \text{Log } d \text{ (Km)}$$

La REGID-W trabajará bajo el protocolo IEEE 802.11b y la frecuencia dependerá del canal utilizado. Para este estudio se supondrá que se utiliza el canal 11 a 2.462 MHz, al ser este el canal de mayor frecuencia utilizable en España, y por lo tanto el que mayores pérdidas puede producir.

Se realizará el estudio para los radioenlaces definidos en la sección anterior con la distribución de *Nodos repetidores* en los vértices de la REGID. Las distancias de los radioenlaces, que se corresponderán entonces con las distancias entre los vértices de la REGID, se obtienen a partir de los datos del modelo digital del terreno.

² Véase HERNANDO RÁBANOS, José M. *Transmisión por radio*. 4ª Ed. (Pags 72-77)

En la siguiente tabla se recogen los resultados de los cálculos de las pérdidas básicas de propagación, que serán necesario en secciones posteriores para el cálculo completo del radioenlace.

Enlace		Distancia (m)	Pérdidas (dB)
BEGC	BARG	1.279	102,42
	FUMA	2.887	109,49
	UCA1	4.273	112,89
	BOMB	6.705	116,80
	CR70	6.526	116,57
	GLAN	4.501	113,34
UCA1	GEOD	4.968	114,20
	COLA	6.478	116,50
	PEND	5.021	114,29
COLA	BALL	3.448	111,03
PEND	TELE	5.051	114,34

Tabla 4.1 Pérdidas Básicas de Propagación de los radioenlaces de la REGID-W

4.4.2 Pérdidas por difracción en obstáculos

Para evaluar la influencia de los obstáculos en los radioenlaces se recurre a los *elipsoides o zonas de Fresnel*³ mediante la representación de perfiles del terreno, considerándose que la propagación se efectúa en condiciones de visibilidad directa si no existe ningún obstáculo dentro del primer elipsoide.

Cuando un rayo pasa cerca de un obstáculo o es interceptado por éste, experimenta una pérdida debida a la difracción, que es función de un parámetro llamado *despejamiento*, que depende de la distancia existente entre el rayo y el obstáculo.

Para cada enlace VérticeA-VérticeB se representa su perfil, quedando el VérticeA a la izquierda y el VérticeB a la derecha del gráfico.

³ Véase HERNANDO RÁBANOS, José M. *Transmisión por radio*. 4ª Ed. (Pags 152-172)

4.4.2.1 Zonas de Fresnel y despejamiento

Considerando el trayecto radioeléctrico en espacio libre TR entre un transmisor T y un receptor R , puede demostrarse que el campo en el receptor es la resultante de contribuciones de campo producidas por anillos de radio R_{n-1}, R_n dispuestos en planos ortogonales al eje TR , situados a distancias d_1 y d_2 de T y R respectivamente. Cada anillo define y delimita una *zona de Fresnel*. Las *zonas de Fresnel* son, por tanto, elipsoides concéntricos formados por revolución alrededor de la línea de visión directa entre transmisor y receptor.

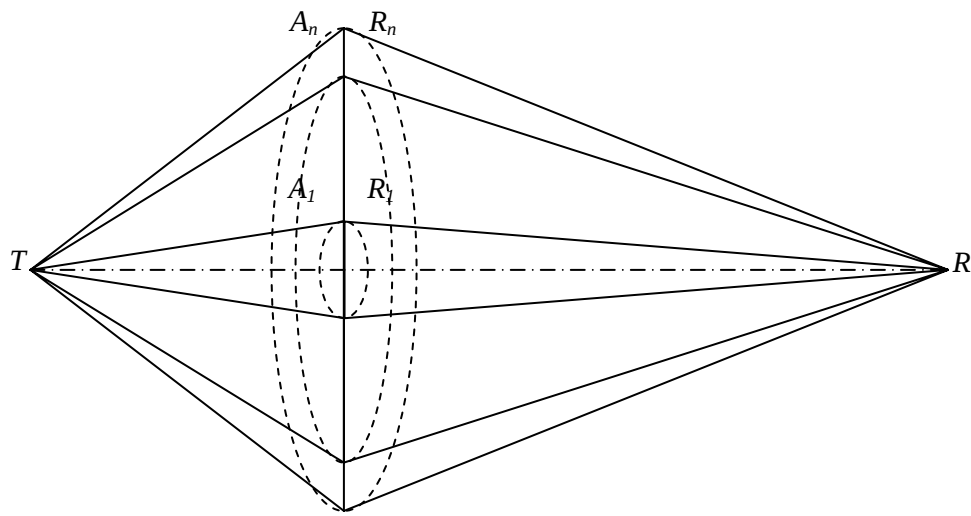


Figura 4.16: Zonas de Fresnel

Los radios de estos anillos cumplen la condición:

$$TA_nR - TR = n \cdot \lambda/2$$

De donde se deduce:

$$R_n = \sqrt{\frac{n \cdot \lambda \cdot d_1 \cdot d_2}{d}} = 548 \cdot \sqrt{\frac{n \cdot d_1 \cdot d_2}{f \cdot d}}$$

Donde:

- R_n = radio de la *enésima* zona de Fresnel (m)
- f = frecuencia (MHz)
- d_1 = distancia del transmisor al plano considerado (Km)
- d_2 = distancia del plano considerado al receptor (Km)
- d = distancia del transmisor al receptor (Km)

Se considera que la propagación se efectúa en condiciones de visibilidad directa si no existe ningún obstáculo que obstruya el primer elipsoide. Dado el carácter oscilatorio del campo electromagnético, es innecesario que el trayecto pase muy por encima de los obstáculos, basta trabajar en el entorno de la primera zona de Fresnel, utilizando como parámetro de referencia el radio R_1 .

$$R_1 = 548 \cdot \sqrt{\frac{d_1 \cdot d_2}{f \cdot d}}$$

Cuando el rayo pasa cerca o es interceptado por el obstáculo, experimenta una pérdida debida a la difracción. Se llama *despejamiento* a la distancia h entre el rayo y el obstáculo. En la recomendación ITU-R P.526, se considera, por convenio, $h > 0$ cuando hay interceptación del rayo y $h < 0$ cuando el rayo pasa por encima del obstáculo.

Se utiliza en la práctica el despejamiento normalizado h/R_1 y la zona correspondiente a la propagación por difracción es la comprendida entre $-1 \leq h / R_1 \leq \infty$, aunque suele trabajarse en la gama $-0,6 \leq h / R_1 \leq 0,5$.

La pérdida por difracción en un único obstáculo es:

$$L_b \text{ (dB)} = 6,9 + 20 \cdot \text{Log} \left(\sqrt{(v - 0,1)^2 + 1} + v - 0,1 \right)$$

Donde:

$$v = h \cdot \left[\frac{2}{\lambda} \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right) \right]^{1/2} = \sqrt{2} \cdot h / R_1$$

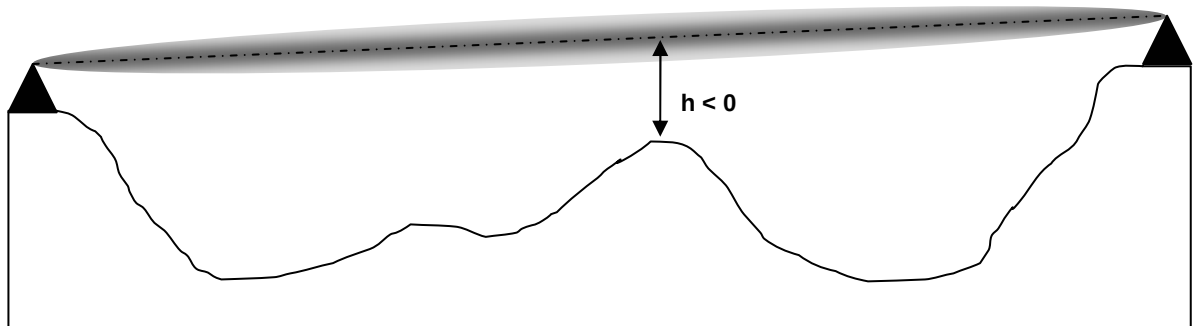


Figura 4.17: Representación de la primera zona de Fresnel y el despejamiento

4.4.2.2 Representación de perfiles

Las herramientas básicas del software *ArcGIS* no permiten la extracción de manera sencilla de perfiles del terreno, por lo que se recurre a la herramienta de Software Libre *Easy Profiles* que permite exportar las coordenadas, altitud y distancia al origen para cada punto de una línea trazada sobre el mapa.

Estos datos exportados han sido tratados con *Microsoft Excel* para generar una representación del perfil del terreno, del trayecto del radioenlace y de la primera zona de Fresnel, a la vez que se calcula el despejamiento para la estimación de las pérdidas por difracción.

• BEGC – BARG

En el estudio de visibilidad desde BEGC realizado en la sección anterior, se indicó que el resultado para el vértice BARG no era concluyente. En la representación del perfil del terreno para este radioenlace, que forma un ángulo de $-2,20^\circ$ con la horizontal, se observa que no existe visibilidad directa, pero la primera zona de Fresnel no es ocultada completamente por el obstáculo.

Al tratarse de un obstáculo continuo no pueden estimarse las pérdidas y se hace necesario un estudio sobre el propio terreno para evaluar la viabilidad de este enlace.

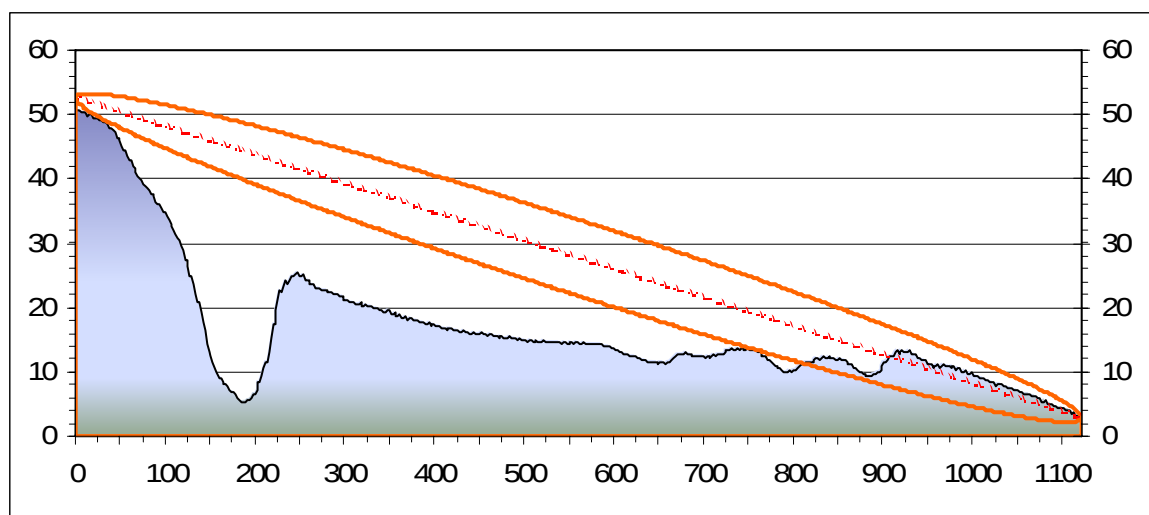


Figura 4.18: Perfil del terreno y primera zona de Fresnel del enlace BEGC-BARG

• *BEGC – FUMA*

En este trayecto, que forma un ángulo de $-0,88^\circ$ con la horizontal, existe visibilidad directa entre los vértices y el despejamiento normalizado máximo es de $-0,886$, lo que no produce pérdidas por difracción apreciables.

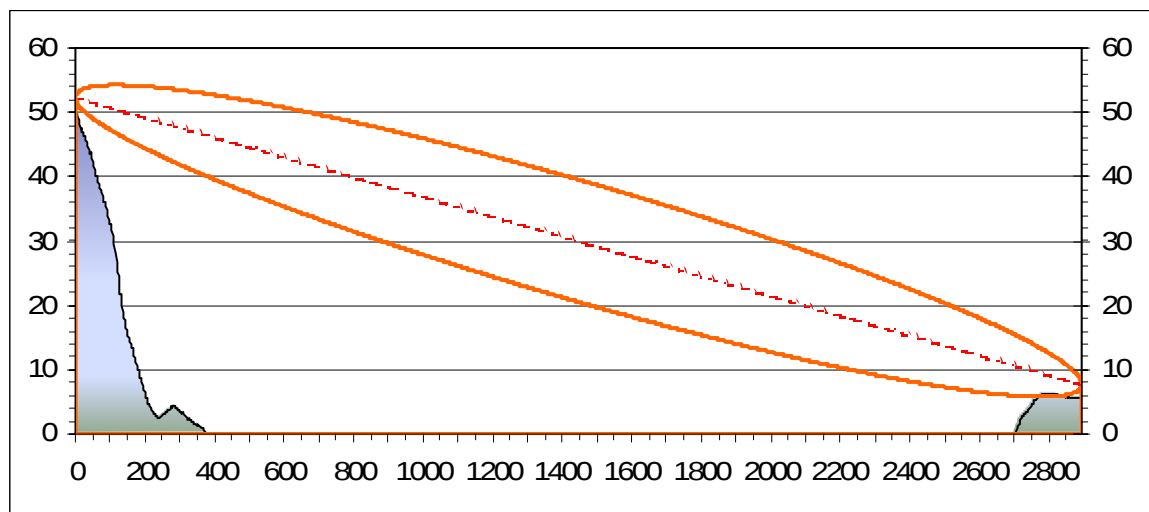


Figura 4.19: Perfil del terreno y primera zona de Fresnel del enlace BEGC-FUMA

• *BEGC – UCA1*

En este trayecto, que forma un ángulo de $-0,58^\circ$ con la horizontal, existe visibilidad directa entre los vértices y no existe obstrucción de la primera Zona de Fresnel.

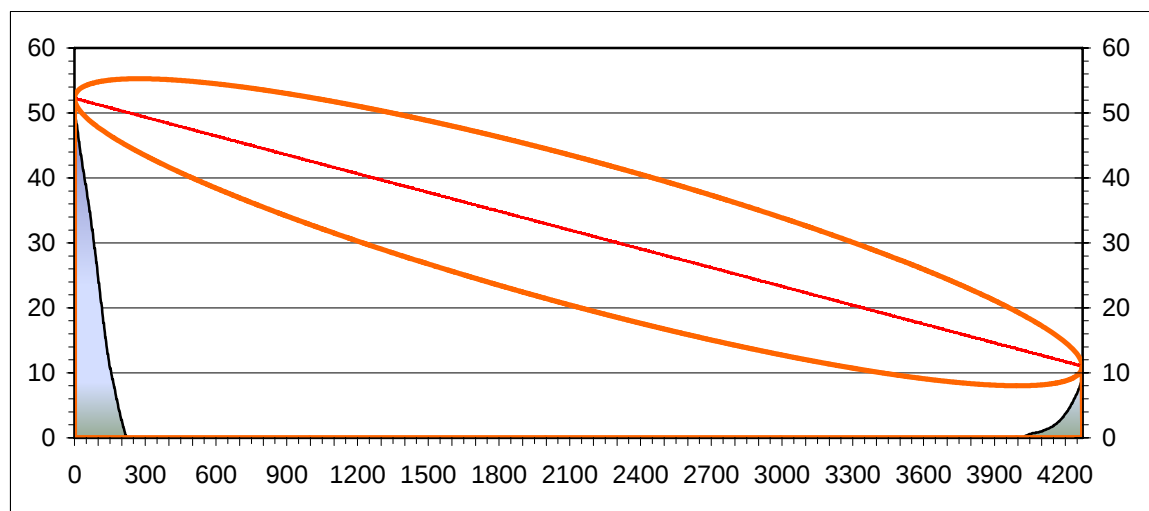


Figura 4.20: Perfil del terreno y primera zona de Fresnel del enlace BEGC-UCA1

• *BEGC – BOMB*

En este trayecto, que forma un ángulo de $-0,36^\circ$ con la horizontal, existe visibilidad directa entre los vértices y no existe obstrucción de la primera Zona de Fresnel.

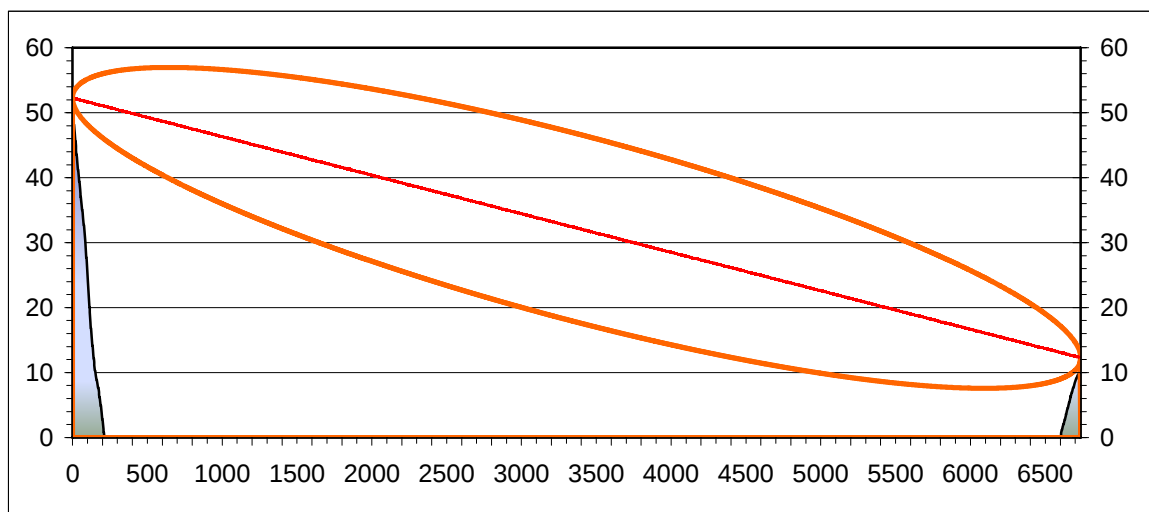


Figura 4.21: Perfil del terreno y primera zona de Fresnel del enlace BEGC-BOMB

• *BEGC – CR70*

En este trayecto, que forma un ángulo de $-0,42^\circ$ con la horizontal, existe visibilidad directa entre los vértices y no existe obstrucción de la primera Zona de Fresnel.

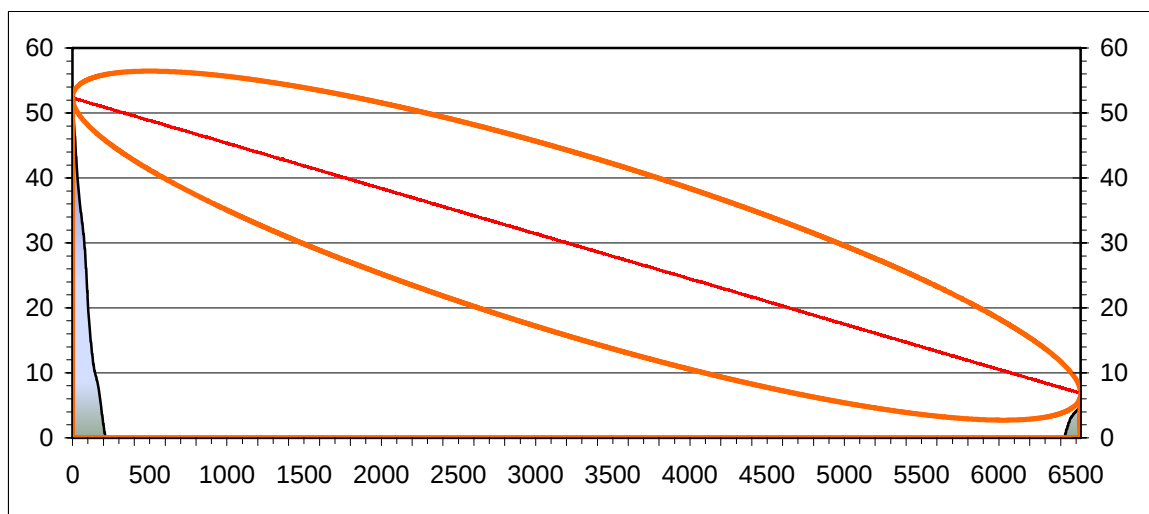


Figura 4.22: Perfil del terreno y primera zona de Fresnel del enlace BEGC-CR70

• *BEGC – GLAN*

En este trayecto, que forma un ángulo de $-0,61^\circ$ con la horizontal, existe visibilidad directa entre los vértices y el despejamiento normalizado máximo es de $-0,953$, lo que no produce pérdidas por difracción apreciables.

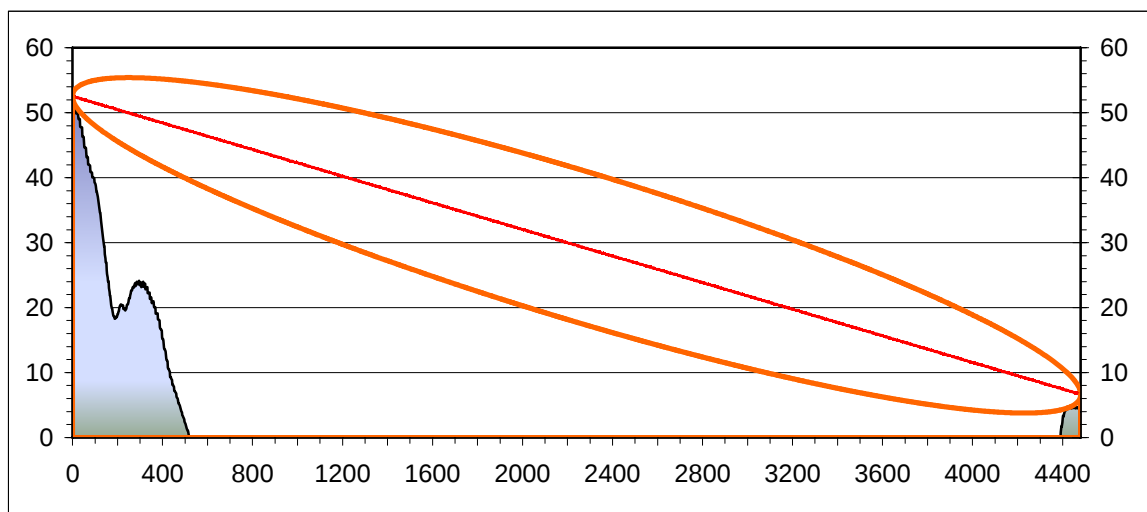


Figura 4.23: Perfil del terreno y primera zona de Fresnel del enlace BEGC-GLAN

• *UCA1 – COLA*

En este trayecto, que forma un ángulo de $0,18^\circ$ con la horizontal, existe visibilidad directa entre los vértices y no existe obstrucción de la primera Zona de Fresnel.

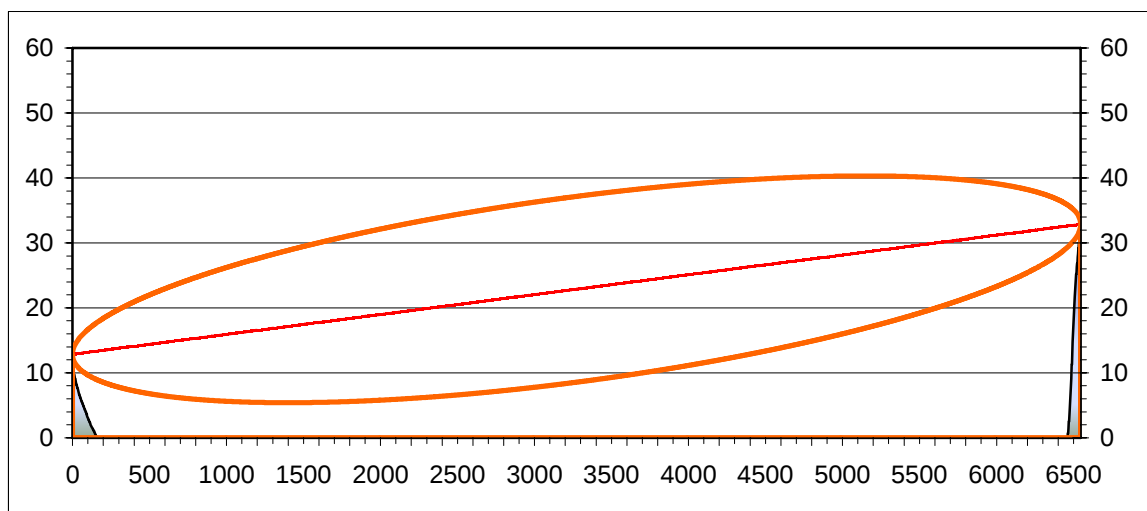


Figura 4.24: Perfil del terreno y primera zona de Fresnel del enlace UCA1-COLA

• UCA1 – GEOD

En este trayecto, que forma un ángulo de $0,05^\circ$ con la horizontal, existe visibilidad directa entre los vértices y no existe obstrucción de la primera Zona de Fresnel.

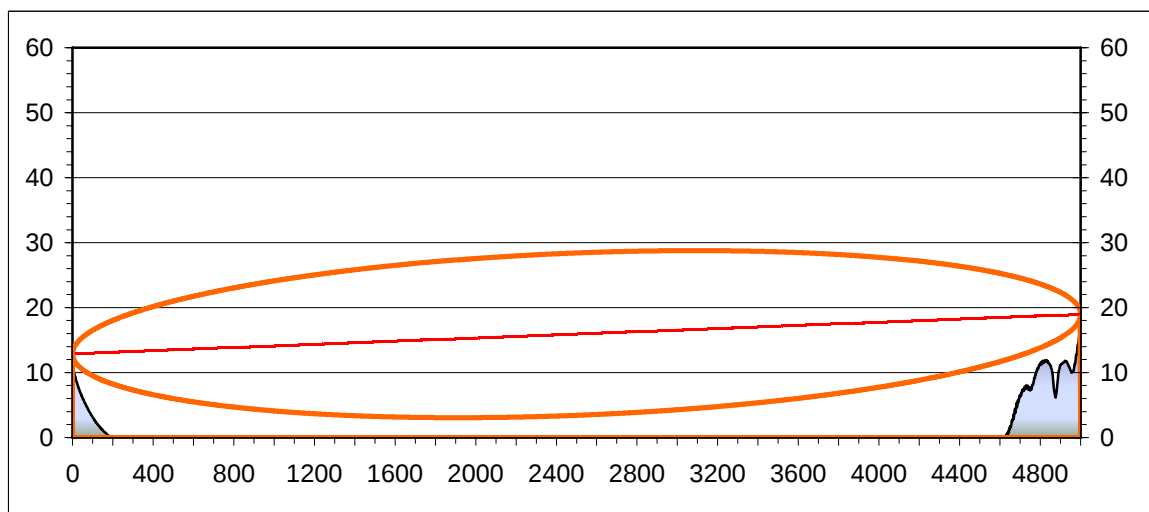


Figura 4.25: Perfil del terreno y primera zona de Fresnel del enlace UCA1-GEOD

• UCA1 – PEND

En este trayecto, que forma un ángulo de $-0,14^\circ$ con la horizontal, existe visibilidad directa entre los vértices y no existe obstrucción de la primera Zona de Fresnel.

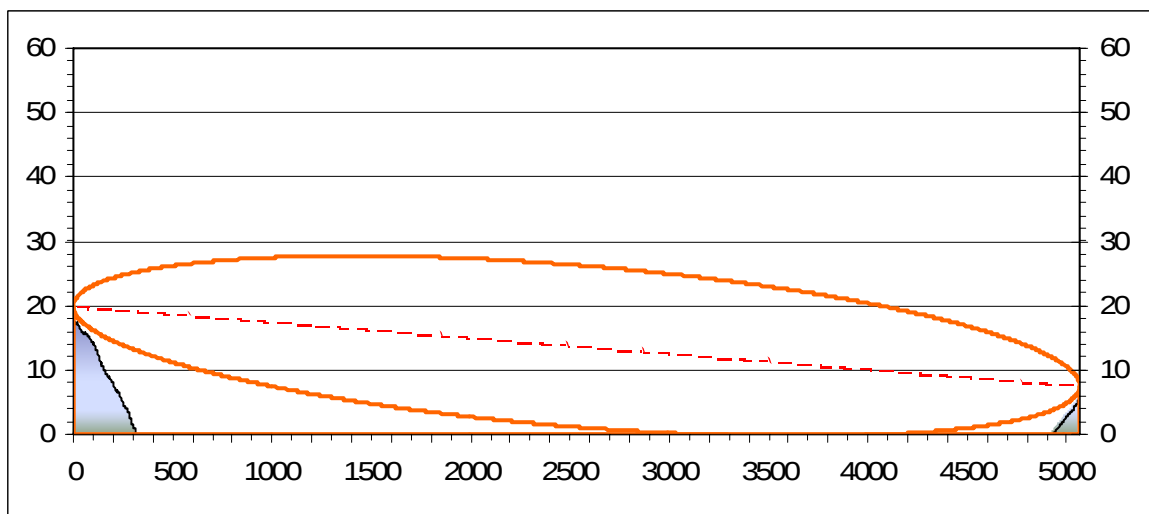


Figura 4.26: Perfil del terreno y primera zona de Fresnel del enlace UCA1-PEND

• COLA – BALL

En el estudio de visibilidad desde COLA realizado en la sección anterior, se indicó que el resultado para el vértice BALL no era concluyente. En la representación del perfil del terreno para este radioenlace, que forma un ángulo de $-0,26^\circ$ con la horizontal, se observa que existe visibilidad directa, pero la primera zona de Fresnel es ocultada parcialmente por un obstáculo.

El despejamiento normalizado máximo obtenido es de $-0,519$, dentro de los valores admisibles para considerarse que la transmisión se realiza en condiciones de visibilidad directa, y que supone unas pérdidas por difracción de 0.35 dB.

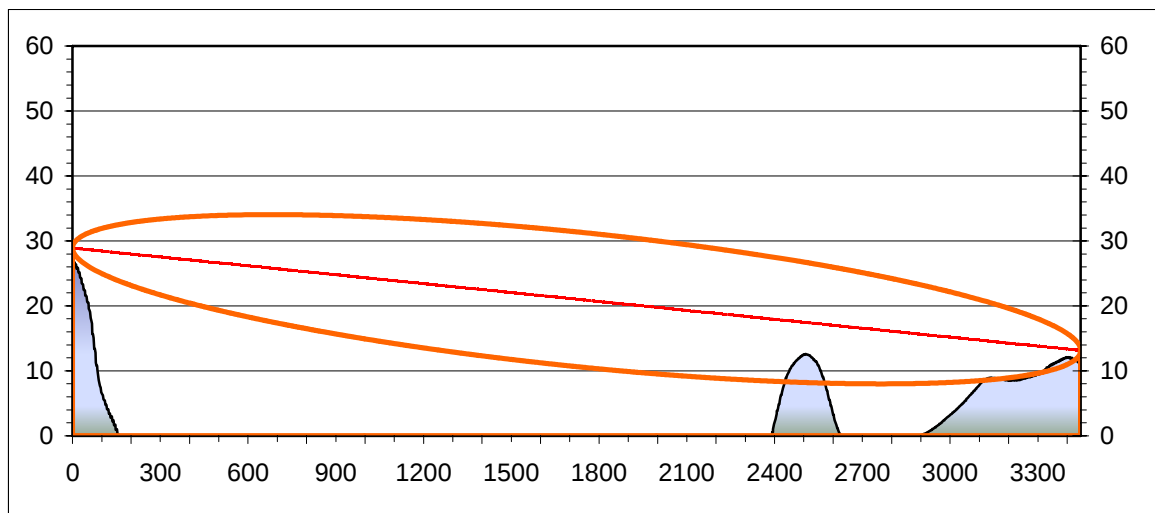


Figura 4.27: Perfil del terreno y primera zona de Fresnel del enlace COLA-BALL

• PEND – TELE

En este trayecto, que forma un ángulo de $-0,03^\circ$ con la horizontal, existe visibilidad directa entre los vértices. Existen obstáculos en la costa cercana a TELE que interceptan la primera zona de Fresnel, produciendo un despejamiento normalizado máximo de $-0,962$, lo que no produciría pérdidas por difracción apreciables.

Sin embargo, durante más de 3700 metros, el límite inferior de la primera zona de Fresnel se encuentra bajo el nivel del mar, con un despejamiento normalizado máximo de $-0,66$.

Si bien con este valor puede considerarse que el trayecto se encuentra despejado, habría que considerar la existencia de pérdidas adicionales producidas por interferencias debidas a reflexiones sobre la superficie del mar, difícilmente evaluables matemáticamente.

Se considerará para este enlace un margen de seguridad adicional, para cubrir estas posibles pérdidas, de 10 dB.

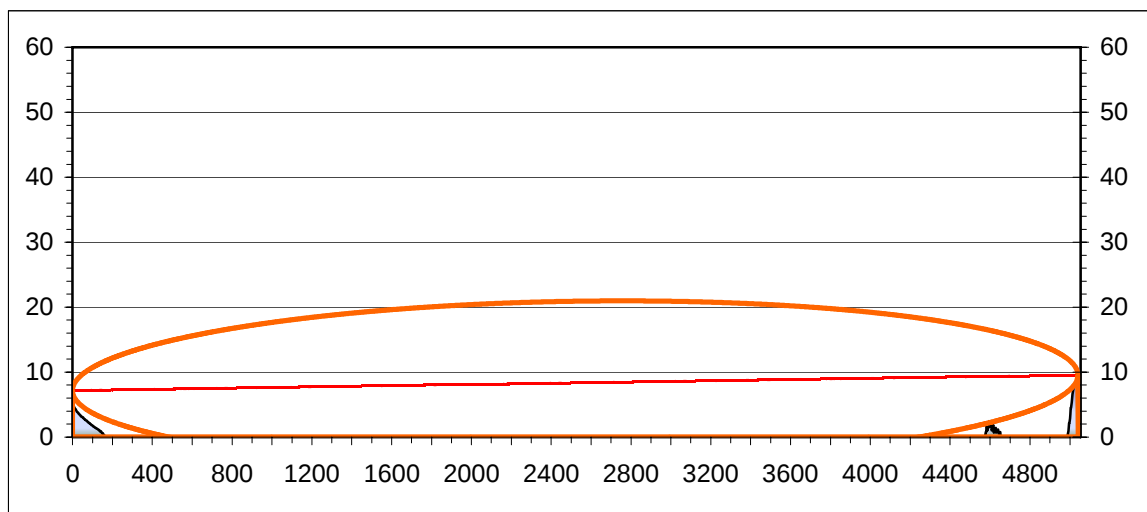


Figura 4.28: Perfil del terreno y primera zona de Fresnel del enlace PEND-TELE

4.4.2.3 Resumen de pérdidas por difracción

Enlace		Ángulo con la horizontal	Visibilidad Directa	Despejamiento Normalizado	Pérdidas (dB)
BEGC	BARG	-2,20°	NO	No es posible calcularlo	
	FUMA	-0,88°	SI	-0,886	~ 0 dB
	UCA1	-0,58°	SI	< -1	-
	BOMB	-0,36°	SI	< -1	-
	CR70	-0,42°	SI	< -1	-
	GLAN	-0,61°	SI	-0,953	~ 0 dB
UCA1	GEOD	0,05°	SI	< -1	-
	PEND	-0,14°	SI	< -1	-
	COLA	0,18°	SI	< -1	-
COLA	BALL	-0,26°	SI	-0,519	0.35 dB
PEND	TELE	-0,03°	SI	Posible reflejo sobre el mar	

Tabla 4.2 Pérdidas adicionales por Difracción de los radioenlaces de la REGID-W