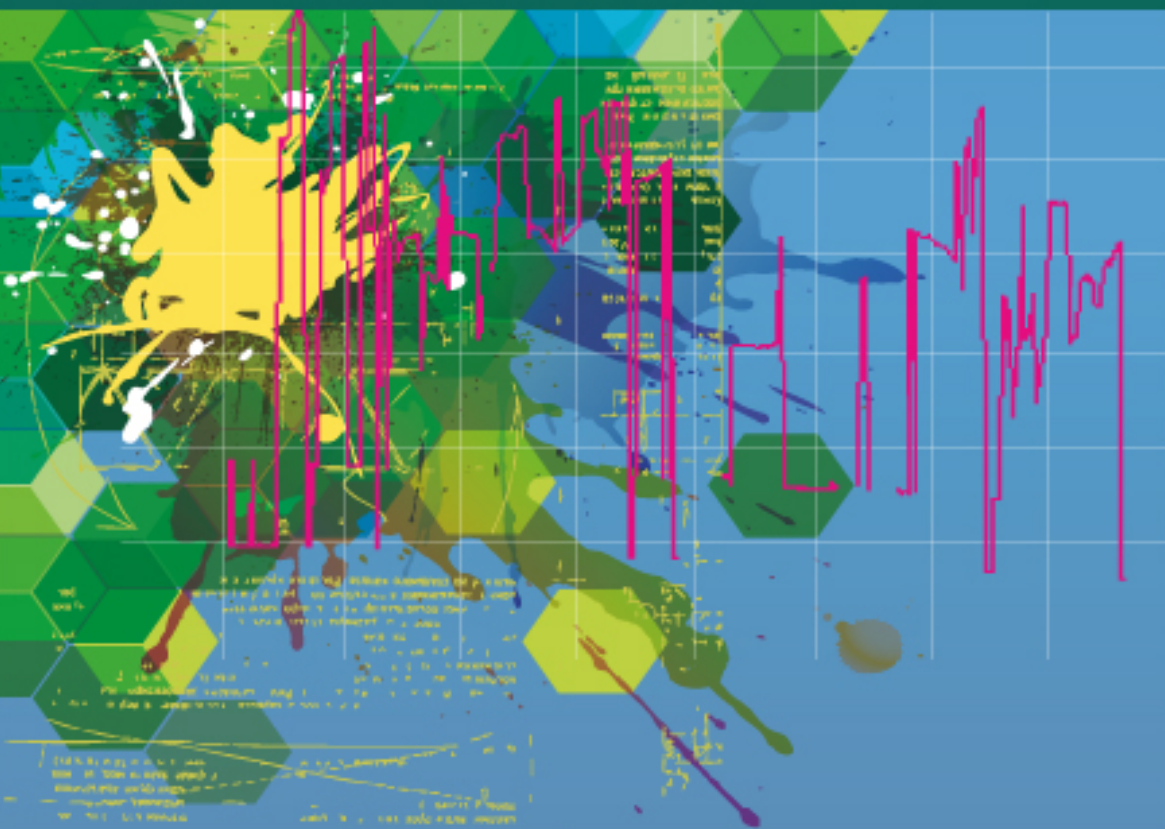


Cálculo y predicción de telecomunicaciones con GNU/GPL SPLAT!

34

Charles Escobar



MANUALES DIDÁCTICOS



MANUALES **DIDÁCTICOS**

Cálculo y predicción de telecomunicaciones con GNU/GPL SPLAT!

Charles Escobar



Quito-Ecuador
2014

Cálculo y predicción de telecomunicaciones con GNU/GPL SPLAT!

Charles Escobar

Centro Internacional de Estudios Superiores
de Comunicación para América Latina
CIESPAL – Ecuador
www.ciespal.net

Primera edición

ISBN: 978-9978-55-112-7
Código de barras: 9789978551127
Derecho de autor: 043067
Depósito legal: 005036

Revisión técnica:

Enrique Calvache Alarcón

Diseño y diagramación:

Arturo Castañeda Vera

Impresión:

Editorial Quipus, CIESPAL
Febrero de 2014
Quito, Ecuador

Los textos que se publican son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Índice

Prólogo	7
Jaime Valarezo	
Prefacio	9
Introducción	11
Capítulo I	
Instalación de SPLAT!	15
Instalación de SPLAT!, compilándolo desde el código fuente (usuarios avanzados)	16
Instalación de SPLAT! desde el paquete binario splat_1.4.0-1_i386.deb	20
Descargar y habilitar mapas para SPLAT!	20
Capítulo II	
Cálculo de telecomunicaciones con SPLAT!	25
Definición de SPLAT!	25
Cálculos de telecomunicaciones con SPLAT! usando la consola de GNU/Linux ®	27
Cálculos de radioenlace punto a punto	28
Ejercicios de cálculos punto a punto con SPLAT!	38
Cálculo de cobertura regional o punto a zona	54
Capítulo III	
Interfaz gráfico SPLAT-GUI	75
SPLAT-GUI	76
Apéndice	
Modelo <i>Longley-Rice</i>	107
Live-CD que acompaña al texto	110
GNU <i>Free Documentation License</i>	111

Prólogo

Hace algunos años, cuando tomé el camino de la tecnología, descubrí que el hombre es un ser que sin herramientas que apoyen su gestión es un ser humano incompleto. Todos estos instrumentos que el individuo pueda disponer para apalancar su conocimiento sirven de complemento para enfrentar cualquier reto que se nos presente en este mundo globalizado.

En el ser humano, la técnica surge de su necesidad de innovar, diseñar, modificar, construir, sugerir cualquier medio y se caracteriza por ser transmisible y confiable. Las técnicas requieren del individuo que por su formación, normalmente, tiene tanto destrezas manuales como intelectuales. Cada individuo, generalmente, aprende de otros y, eventualmente, modifica lo aprendido en bien de sus objetivos.

Las telecomunicaciones basadas en técnicas y principios han apoyado al mundo para poder desarrollar sin limitaciones las comunicaciones que todo ser humano necesita para descubrir y alcanzar nuevas metas, resultando sociedades

tecnificadas que cooperen con el universo de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC). Es por esto que mi gran amigo y compañero, Charles “loco” Escobar, una persona con gran experiencia en las comunicaciones, radiodifusor desde 1978, docente e investigador por más de 15 años, creador y desarrollador de conocimiento, ha querido aportar con la documentación para el uso de una herramienta libre que nos permita obtener predicciones de áreas de coberturas sobre mapas digitalizados, cálculos de radioenlaces y otros conceptos que complementan el marco de la radiodifusión y las telecomunicaciones.

Todos los que estamos inmersos en la ingeniería, redes, telecomunicaciones, sociedad estudiantil, entidades gubernamentales regulatorias y de control, podemos disponer, con la documentación apropiada de esta herramienta que nos proporciona datos comparables con los obtenidos por otros programas de telecomunicaciones pero con licencias privadas y con altos costos a estas asociados.

Agradezco al autor por el aporte y estoy seguro que mucha gente se beneficiará en la búsqueda del conocimiento.

Jaime Valarezo Montoya

Prefacio

Este texto está dirigido a ingenieros y especialistas del área de telecomunicaciones que requieran realizar cálculos para instalar sistemas de comunicaciones en el rango de 20 MHz a 20 GHz, este rango cubre un amplio abanico de aplicaciones como; radioenlaces y coberturas de radiodifusión FM, televisión, redes inalámbricas, redes celulares y otros sistemas de telecomunicaciones .

Para los cálculos de telecomunicaciones se usará el programa GNU/GPL SPLAT!, con el cual se analizarán radioenlaces punto a punto y se generará predicción de coberturas de punto a zona con parámetros requeridos para la instalación de sistemas de telecomunicaciones o de acuerdo a los requerimientos del marco regulatorio del sector.

Con el uso de la herramienta SPLAT! y los mapas digitalizados SRTM3¹, se graficará el perfil del terreno para trayectorias punto a punto, lo que permitirá determinar la línea de vista, establecer si la zona de Fresnel se encuentra despeja-

1 *Shuttle Radar Topography Mission.*

da, determinar azimut y ángulo de elevación de las antenas del transmisor y receptor.

Adicionalmente, se graficará el área de predicción de cobertura de los sitios de transmisión punto a zona, asociando colores con intensidades de campo y ajustándolos a la regulación vigente para servicios de telecomunicaciones.

Finalmente, se superponen los radioenlaces y áreas de cobertura sobre mapas digitalizados, superpuestos sobre la herramienta *Google earth*, que le dan al ingeniero o especialista de telecomunicaciones importantes criterios de decisión para la determinación de sitios apropiados para sistemas de telecomunicaciones.

En la sección 1 se detalla la instalación de la herramienta SPLAT!, la generación de mapas digitales en formato SDF requeridos por la aplicación mientras que en la sección 3 se describe la instalación de la interfaz gráfica web SPLAT-GUI.

Introducción

El cálculo y predicción de telecomunicaciones con el uso de herramientas de modelación matemática ahora es posible gracias a los modelos matemáticos desarrollados por investigadores del área de telecomunicaciones y el poder de los equipos informáticos que, a través de una serie de programas, le permiten al ingeniero o especialista del área de telecomunicaciones realizar aproximaciones muy cercanas a la realidad, cálculos de radioenlaces punto a punto o predicción de cobertura de punto a zona.

SPLAT! es una poderosa herramienta desarrollada por John A. Magliacane, KD2BD y licenciada como GPLv2 para cálculo y trazado de enlaces de radiocomunicaciones y predicción de línea de vista y cobertura, usando para ello los mapas de la misión SRTM3². Esta herramienta originalmente funciona sobre línea de comandos en una distribución GNU/Linux³, pero se puede complementar con una interfaz web

² *Shuttle Radar Topography Mission.*

³ Portada también a otras plataformas.

desarrollada por el autor que puede ser accedida desde un navegador Firefox® desde otras computadoras y plataformas.

La herramienta SPLAT! puede usar el “Modelo de Terreno Irregular *Longley-Rice*”⁴⁻⁵ y el “Modelo de Terreno Irregular con Obstrucciones”⁶⁻⁷

Gracias a la capacidad de SPLAT! de exportar gráficos georeferenciados, los resultados obtenidos pueden ser fácilmente sobrepuestos sobre los mapas de *Google earth*, junto con mapas digitalizados, con lo que se consigue gráficos altamente detallados de perfiles de radioenlaces o de áreas de cobertura que no le piden favor a programas de telecomunicaciones de alto desempeño como ICS Telecom®, usado por algunos organismos de control.

En este texto, se aprenderá el uso de la herramienta SPLAT!, comenzando por su instalación, uso y exportación de datos para superponerlos sobre mapas digitales, con ejemplos que se ajustan a los parámetros establecidos por la legislación de telecomunicaciones.

El lector que tenga instalada la herramienta puede comenzar desde el capítulo 1, caso contrario, puede comenzar por el apéndice respectivo que detalla el proceso de instalación de la herramienta, generación de mapas en formato SDF e instalación de la interfaz web desarrollada por el autor.

El lector deberá tener un sistema operativo GNU/Linux instalado con conexión a Internet para poder instalar las herramientas necesarias y descargar el material necesario.

4 Nombrado así en honor a Anita Longley y Phil Rice en 1968.

5 Información disponible en: <http://flattop.its.blrdoc.gov/itm.html>.

6 *Irregular Terrain With Obstructions Model* (Itwom), creado por Sid Shumate, presidente de *Givens & Bell, Inc.*

7 Información disponible en: http://www.its.blrdoc.gov/isart/art08/slides08/shu_s-08.pdf.

Este texto se acompaña de un live-CD, con la herramienta SPLAT! preinstalada y contiene los mapas digitales convertidos desde SRTM a SDF para Ecuador, la interfaz web para SPLAT! y programas complementarios, que pueden ser usados con esta herramienta. Sin embargo, en este texto se explica como instalar SPLAT! en una distribución Ubuntu® o derivadas.

Capítulo I

Instalación de SPLAT!

Instalación de SPLAT!

SPLAT!⁸ es una herramienta desarrollada por John A. Magliacane, KD2BD y licenciada como GPLv2 para cálculo y trazado de enlaces de radiocomunicaciones y predicción de línea de vista y cobertura que usa mapas SRTM3.

Para instalar y utilizar SPLAT!, se deben seguir dos pasos:

- 1 Primero se debe instalar la aplicación, ya sea a través del gestor de paquetes (synaptic⁹ en Ubuntu® o Trisquel®) o descargar y compilar las fuentes (cualquier distribución).
- 2 Posteriormente de deben descargar los mapas SRTM3 de las zonas geográficas, donde se vayan a realizar los cálculos de propagación o telecomunicaciones, y generar los mapas en el formatos SDF.

⁸ Información disponible en: <http://www.qsl.net/kd2bd/splat.html>.

⁹ La versión 1.3.x de SPLAT! presenta problemas, por tanto, en caso de ser necesario, debe descargar e instalar manualmente la versión 1.4.

Instalación de SPLAT! compilándolo desde el código fuente (usuarios avanzados)

Para compilar SPLAT!, es necesario descargar las fuentes y compilarlas. Para ello descargue las fuentes de la versión 1.4.0 desde:

<http://www.qsl.net/kd2bd/splat-1.4.0.tar.bz2>

En caso de que este enlace no se encuentre disponible, busque en el sitio <http://www.qsl.net/kd2bd/> la versión disponible de SPLAT!

Una vez descargado el paquete, será necesario compilarlo, nada más que digite “*configure*” e “*install all*”, como se describe a continuación.

Como requisito previo a la instalación, se deben tener instaladas las librerías:¹⁰

- `zlib1g-dev`
- `libbz2-dev`

y los paquetes:

- `build-essential`
- `gnuplot`

Para instalar estas librerías, en un terminal puede ejecutar las siguientes líneas de comando:

```
sudo apt-get install gnuplot build-essential libbz2-dev  
bzip2 zlib1g-dev
```

Luego, será necesario crear una carpeta donde se descargará el código fuente:

```
mkdir ~/splatinstall
```

Se ingresa a la carpeta con la instrucción:

```
cd ~/splatinstall
```

10 Observe que las librerías pertenecen a la categoría de desarrollo *-dev y no corresponden a la librerías binarias `zlib1g` y `libbz2`.

Dentro de esta carpeta, descargamos el paquete desde la página oficial de splat usando la instrucción: ¹¹

wget -c http://www.qsl.net/kd2bd/splat-1.4.0.tar.bz2

Una vez concluida la descarga, extraemos el paquete con:

tar jxvf splat-1.4.0.tar.bz2

Con este comando, se creará una carpeta dentro de la carpeta en la que estamos trabajando, la cual contiene los archivos del código fuente necesarios para su compilación.

Ingresamos a la carpeta generada al extraerse el paquete ***cd splat-1.4.0*** y, finalmente, compilamos e instalamos ejecutando secuencialmente las siguientes instrucciones:

./configure
sudo ./install all
cd ..

En el proceso de compilación, le preguntará cuantos mapas desea cargar por defecto para SPLAT! y Splat-hd¹². Mientras más mapas seleccione, el proceso de cálculo de áreas de cobertura puede ser más lento, dependiendo de la velocidad del procesador. Si para su país o área en la que realizará los cálculos de telecomunicaciones no existen mapas SRTM1, no es necesario configurar la opción Splat-hd del programa.

Una vez concluido este proceso y para verificar que la aplicación está instalada digite en el terminal el comando:

splat

¹¹ wget permite descargar archivos desde Internet a través de la línea de comandos, y la opción -c permite, en caso de que por alguna razón se interrumpió este proceso, continuar la descarga desde el punto en que se quedó.

¹² Splat-hd usa mapas SRTM-1 con mayor resolución. Verifique si para su país existen mapas SRTM-1.

Con esto, se debe presentar la versión y ayuda resumida del programa como se muestra en el cuadro 1

Cuadro 1.- Ayuda resumida de SPLAT!

```

====[ SPLAT! v1.4.0 Available Options... ]===
-t txsite(s).qth (max of 4 with -c, max of 30 with -L)
-r rxsite.qth
-c plot coverage of TX(s) with an RX antenna at X feet/meters AGL
-L plot path loss map of TX based on an RX at X feet/meters AGL
-s filename(s) of city/site file(s) to import (5 max)
-b filename(s) of cartographic boundary file(s) to import (5 max)
-p filename of terrain profile graph to plot
-e filename of terrain elevation graph to plot
-h filename of terrain height graph to plot
-H filename of normalized terrain height graph to plot
-l filename of path loss graph to plot
-o filename of topographic map to generate (.ppm)
-u filename of user-defined terrain file to import
-d sdf file directory path (overrides path in ~/.splat_path file)
-m earth radius multiplier -n do not plot LOS paths in .ppm maps
-N do not produce unnecessary site or obstruction reports
-f frequency for Fresnel zone calculation (MHz)
-R modify default range for -c or -L (miles/kilometers)
-sc display smooth rather than quantized contour levels
-db threshold beyond which contours will not be displayed
-nf do not plot Fresnel zones in height plots
-fz Fresnel zone clearance percentage (default = 60)
-gc ground clutter height (feet/meters)
-ngs display greyscale topography as white in .ppm files
-erp override ERP in .lrp file (Watts)
-ano name of alphanumeric output file
-ani name of alphanumeric input file
-udt name of user defined terrain input file
-kml generate Google Earth (.kml) compatible output
-geo generate an Xastir .geo georeference file (with .ppm output)
-dbm plot signal power level contours rather than field strength
-gpsav preserve gnuplot temporary working files after SPLAT! execution
-metric employ metric rather than imperial units for all user I/O
-olditm invoke older ITM propagation model rather than the newer ITWOM
If that flew by too fast, consider piping the output through 'less':
splat | less
Type 'man splat', or see the documentation for more details.
This compilation of SPLAT! supports analysis over a region of 8 square degrees
of terrain, and computes signal levels using ITWOM Version 3.0.

```

La salida traducida al español:

Cuadro 2.- Ayuda resumida traducida al español

```

-=[ SPLAT! v1.4.0 Available Options... ]=-
-t txsite(s).qth (sitio de transmisión, max 4 con -c, max 30 con -L)
-r rxsite.qth (sitio de recepción)
-c grafica área(s) de cobertura del Tx(s) con antena Rx a X pies/mts SNT
-L grafica mapa de pérdida por trayectoria del TX y antena RX a X pies/mts
SNT
-s nombres de archivos(s) de ciudades/sitios para importar (máximo 5)
-b nombres de archivos(s) de límites cartográficos para importar (máximo 5)
-p nombre de archivo para graficar el perfil del terreno
-e nombre de archivo para graficar la elevación del terreno
-h nombre de archivo para graficar la altura del terreno
-H nombre de archivo para graficar la altura normalizada del terreno
-l nombre de archivo para graficar pérdidas por trayectoria
-o nombre de archivo para generar el mapa topográfico (.ppm)
-u nombre del archivo del terreno definido-por-el-usuario a importar
-d ruta al directorio que contiene los archivos sdf (en lugar de ~/.splat_path)
-m multiplicador del radio de la tierra -n no grafica las rutas de LDV in mapas
.ppm
-N no produce reportes innecesarios del sitio ó reportes de obstrucción
-f frecuencia para el cálculo de la zona de Fresnel (MHz)
-R modifica el rango por defecto para -c ó -L (millas/kilómetros)
-sc presenta niveles de contornos suavizados en lugar de cuantizados
-db Umbral bajo el cual los contornos no serán presentados
-nf no grafica la zona de Fresnel en los gráficos de altura
-fz porcentaje de despeje de la zona de Fresnel (default = 60)
-gc Altura del clutter del terreno (pies/metros)
-ngs presenta la topografía de escala de grises como blanco en archivos .ppm
-erp valor ERP en lugar del declarado en el archivo .lrp (Watts)
-ano nombre archivo salida alfanumérica -ani nombre archivo entrada
alfanumérica
-udt nombre del archivo de entrada de terreno definido-por-el-usuario
-kml genera un archivo compatible Google Earth .kml (para enlaces punto-punto)
-dbm dibuja contornos de nivel de potencia de señal en lugar de intensidad de
campo
-geo genera un archivo Xastir de georeferencia .geo (con salida .ppm)
-gpsav preserva los archivos temporales gnuplot después de ejecutar SPLAT!
-metric emplea unidades métricas para todas las I/O del usuario

-olditm invoca el viejo modelo de propagación
ITM en lugar del nuevo ITWOM

Las opciones de línea-de-comando para splat y splat-hd son idénticas.

```

Instalación de SPLAT! desde el paquete binario `splat_1.4.0-1_i386.deb`

Para instalar SPLAT! desde el binario, puede descargar desde Internet el binario de la versión 1.4.x compilado para Debian y derivados como Ubuntu®. Para facilitar su búsqueda, este paquete está también disponible en el sitio del autor de este texto:

http://charlesescobar.com/varios/splat_1.4.0-1_i386.deb

Luego, dar doble clic sobre el archivo descargado e instalarlo. Los usuarios de Trisquel 5.0® y Ubuntu 12.04® y superiores, tienen la versión 1.4.x disponible directamente en su repositorio, por lo tanto solo debe instalarlos desde el synaptic o desde consola digitando:

sudo apt-get install splat

Durante el proceso de instalación obtendrá una salida similar a la mostrada en el cuadro 3.

Para verificar que la aplicación está instalada digite en el terminal: ***splat*** y debe presentar la versión y ayuda resumida del programa (véase el cuadro 1).

Descargar y habilitar mapas para SPLAT!

Debido a que SPLAT! requiere mapas digitalizados para su funcionamiento, una opción eficiente consiste en descargar los mapas generados por la misión SRTM y convertir esos mapas al formato requerido por SPLAT!.

La misión topográfica del radar Shuttle¹³ obtuvo datos a escala casi mundial para generar la más completa base de datos topográficos de alta resolución digital de la Tierra.

13 Shuttle Radar Topography Mission (SRTM).

SRTM consistía en un sistema de radar especialmente modificado que voló a bordo del transbordador espacial Endeavour durante una misión de 11 días en febrero de 2000.

SRTM es un proyecto internacional liderado por la *National Geospatial-Intelligence Agency* (NGA) y la *National Aeronautics and Space Administration* (NASA).¹⁴

Cuadro 3.- Proceso de instalación desde el terminal

```
cescobar@N4050:~$ sudo apt-get install splat
Reading package lists... Done
Building dependency tree Reading state information...
Done
The following packages were automatically installed and are no longer required:
libclucene0ldbl libx264-116 hplip-cups libkdecore5 libindicate-gtk2 libvo-aacenc0
libsolid4 libkparts4 libvo-amrwbenc0 libavfilter1 libstreamanalyzer0 libkio5
libstreams0 libkdeui5 libkutils4
Use 'apt-get autoremove' to remove them.
The following extra packages will be installed: gnuplot gnuplot-nox gnuplot-x11
libgd2-noxpm Suggested packages: gnuplot-doc libgd-tools Recommended
packages: groff ttf-liberation
The following NEW packages will be installed: gnuplot gnuplot-nox gnuplot-x11
libgd2-noxpm splat 0 upgraded, 5 newly installed, 0 to remove and 62 not
upgraded. Need to get 2,086 kB of archives.
After this operation, 5,149 kB of additional disk space will be used.
Do you want to continue [Y/n]? Y
...
Selecting previously unselected package gnuplot.
Unpacking gnuplot (from .../gnuplot_4.4.0-1.1_all.deb) ... Selecting previously
unselected package splat.
Unpacking splat (from .../splat_1.3.0-1_i386.deb) ...
Processing triggers for man-db ...
Processing triggers for menu ...
Setting up libgd2-noxpm (2.0.36~rc1~dfsg-5) ...
Setting up gnuplot-nox (4.4.0-1.1+b1) ...
Setting up gnuplot-x11 (4.4.0-1.1+b1) ...
Setting up gnuplot (4.4.0-1.1) ...
Setting up splat (1.4.0) ...
Processing triggers for menu ...
cescobar@N4050:~$
```

14 Datos basados en la página <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/> (consulta: 02 / 2012).

El proceso consiste básicamente en descargar los mapas SRTM-3 en formato .hgt , convertirlos al formato .sdf propio de SPLAT!. Una vez generados los mapas SDF se debe ponerlos disponibles en una carpeta para que el programa pueda accederlos.

Para descargar los mapas en un navegador abra la página:

http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2_1/

y seleccione la zona de interés, por ejemplo para Sudamérica:

http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2_1/SRTM3/South_America/

En esta carpeta se encuentran los mapas SRTM3 cuyos nombres tienen el siguiente formato:

N00W074.hgt.zip 993 KB 09/06/05 00:00:00
N00W075.hgt.zip 1007 KB 09/06/05 00:00:00
N00W076.hgt.zip 1027 KB 09/06/05 00:00:00
N00W077.hgt.zip 1230 KB 09/06/05 00:00:00
N00W078.hgt.zip 1917 KB 09/06/05 00:00:00
N00W079.hgt.zip 1921 KB 09/06/05 00:00:00
N00W080.hgt.zip 1520 KB 09/06/05 00:00:00
N00W081.hgt.zip 113 KB 09/06/05 00:00:00
N00W090.hgt.zip 47 KB 09/06/05 00:00:00
N00W091.hgt.zip 73 KB 09/06/05 00:00:00
N00W092.hgt.zip 105 KB 09/06/05 00:00:00

El nombre de cada uno de estos archivos se refieren a la latitud y a la longitud de la esquina inferior izquierda del mapa (de 1 grado x 1 grado) por ejemplo:

N37W105

Tiene su esquina inferior izquierda en 37 grados de latitud norte y 105 grados de longitud del oeste.

Para ser más exactos, estas coordenadas se refieren al centro geométrico del pixel inferior izquierdo que, en el caso de los datos SRTM3, será cerca de 90 metros.

Los archivos de altura SRTM3 tienen la extensión .hgt y las alturas están en metros referidos al geoide GS84/EGM96.

Los vacíos de los datos se asignan el valor -32768.¹⁵

Estos archivos de altura .hgt del proyecto SRTM deben ser convertidos a .sdf que es el formato que usa SPLAT!. Para ello utilizamos la herramienta “srtm2sdf” que viene incluida en la herramienta

El procedimiento para la conversión de .hgt a .sdf se describe a continuación:

En la carpeta en la cual se descargaron los mapas, cree una carpeta que contendrá los mapas, por ejemplo en un terminal ejecute:

```
mkdir ~/sdf
```

Descargue y grabe en esa carpeta los mapas *.hgt.zip.

Debido a que los mapas que hemos descargado dentro de la carpeta ~/sdf están comprimidos en formato .zip, es necesario descomprimirlos. Para ello, ejecute:

```
cd ~/sdf
```

```
unzip *
```

o por cada archivo;

```
unzip nombre_archivo.hgt.zip
```

Como ejemplo para el primer mapa de la lista:

```
unzip N00W074.hgt.zip
```

Para generar los archivos (.sdf), digite lo siguiente por cada archivo topográfico SRTM de extensión .hgt

```
srtm2sdf N00W074.hgt.
```

15 Traducido de Quickstart accedido en febrero de 2012 en el sitio http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2_1/Documentation/Quickstart.pdf.

Luego que se generen los archivos .sdf, se tendrán mezclados en esta carpeta los archivos .hgt.zip, los descomprimidos

.hgt y los generados .sdf.

Para ordenarlos un poco, se puede crear una carpeta ~/srtm3 y mover allí los archivos originales; para ello, en la consola digite:

mkdir ~/srtm3

mv *zip *hgt ~/srtm3

Para que SPLAT! use estos mapas .sdf, se debe usar la opción -d y apuntar a la carpeta creada, es decir, como ejemplo de una instrucción parcial:

splat -t tx_site.qth -r rx_site.qth -metric -d ~/sdf.....

Esto se verá con más detalle en el siguiente capítulo.

Capítulo II

Cálculo de telecomunicaciones con SPLAT!

Definición de SPLAT!

En el manual en español de SPLAT!, disponible en su sitio oficial¹⁶ encuentra una detallada descripción de esta herramienta.¹⁷ SPLAT! es una poderosa herramienta para el análisis de terreno y propagación RF que cubre el espectro radioeléctrico entre 20 Megahertz y 20 Gigahertz.

SPLAT! provee datos RF de ingeniería del sitio, tales como distancia del arco terrestre y azimuth entre sitios, ángulos de elevación (*uptilt*) y depresión (*downtilt*) de la antena, altura de la antena sobre nivel del mar, altura de la antena sobre el promedio del terreno, azimuth, distancias y elevaciones para determinar obstrucciones, atenuaciones de trayectoria del Modelo Terreno Irregular, e intensidad de la señal recibida. Adicionalmente, determina la altura mínima de las antenas requerida para superar las obstrucciones del terreno, la primera zona de Fresnel y cualquier porcentaje definido por el usuario de la primera zona de Fresnel.

¹⁶ Disponible en: <http://www.qsl.net/kd2bd/splat-spanish.pdf>.

¹⁷ Traducida al español por el autor.

SPLAT! produce reportes, gráficos y mapas topográficos de alta resolución, que presentan trayectorias de línea-de-visita, pérdidas por trayectoria regionales y contornos de intensidad de señal a través de los cuales se puede determinar el área de cobertura esperada de sistemas transmisores o repetidoras.

Al realizar un análisis de línea de vista y análisis del Modelo Terreno Irregular cuando se emplean múltiples sitios de transmisores o repetidores, SPLAT! determina las áreas de cobertura individuales y mutuas dentro de la red especificada.

En el aspecto legal, esta herramienta ha sido licenciada como *software* libre y la documentación adjunta es explícita al respecto

SPLAT! es Software libre y está diseñado para operar en escritorios Unix y basados en Linux. La redistribución y/o modificación está permitida bajo los términos de la licencia pública general GNU, según lo publicado por la Fundación de Software Libre, versión 2. La adopción del código fuente de SPLAT! en aplicaciones propietarias¹⁸ o de fuente-cerrada es una violación de esta licencia, y está estrictamente prohibida.

SPLAT! se distribuye con la esperanza de que sea útil, pero sin ninguna garantía, aún la garantía implícita de comercialización o de la aplicación para un propósito particular. Vea la licencia GNU para más detalles¹⁹. Las aplicaciones de SPLAT! incluyen la visualización, diseño, y análisis de enlaces de redes inalámbricas WAN, sistemas de radio comunicaciones comerciales y aficionados sobre los 20 Megahertz, enlaces microonda, estudios de interferencia y coordinación de frecuencias, y determinación del contorno de cobertura de las regiones de radio y televisión terrestres análogas y digitales.

18 La definición de “*software* propietario” es controvertida, ya que tanto el *software* libre como el no libre tienen derechos de autor, lo que deriva en una diferencia en el tipo de licenciamiento y no en el hecho de la propiedad de la obra. El autor y otros activistas del *software* libre prefieren llamarlo *software* privativo, porque priva las libertades del usuario, en lugar de *software* propietario.

Cálculos de telecomunicaciones con SPLAT! usando la consola de GNU/Linux ®

Una vez que la herramienta ha sido instalada, estamos listos para usarla. SPLAT! permite obtener cálculos de telecomunicaciones para:

- Enlace punto a punto
- Cobertura de punto a zona

En estas dos formas de cálculo, el usuario puede ingresar una serie de parámetros para obtener resultados que se pueden personalizar de acuerdo a los requerimientos del usuario o la legislación de telecomunicaciones vigente.

SPLAT! es una herramienta diseñada para funcionar sobre GNU/Linux desde una consola terminal y requiere que, previamente, se descarguen los mapas SRTM-3, se los convierta al formato SDF²⁰ y se los ubique en una carpeta accesible al programa.

El formato del comando **splat**, se ajusta al formato de los comandos en GNU/Linux. Así,

comando <archivos de entrada> <opciones> <archivos de salida>

Entre las opciones del programa, se tiene la opción **-d** que sirve para direccionar el directorio o carpeta que contiene los mapas **.sdf** y que se debería usar cada vez que se realiza un cálculo:

-d ruta-de-la-carpeta

Para evitar el tener que direccionar este directorio cada vez que usamos el comando **splat**, se puede crear un archivo

19 Incluido como anexo de este texto.

20 esto se revisó con detalle en la sección anterior.

oculto llamado `.splat_path` ubicado en la carpeta raíz del usuario. Este archivo debe contener la ruta absoluta de la carpeta que contiene los mapas SDF; de esta manera no es necesario llamar los mapas cada vez que se hace un cálculo. Por ejemplo si los mapas están ubicados dentro de:

/home/splat/mapas/sdf,

el archivo

~/splat_path

debería contener esa línea.

El programa SPLAT! funciona a base de archivos de entrada de texto plano, en los cuales se ingresarán las coordenadas de los sitios de transmisión y/o recepción y otros parámetros requeridos.

Luego de realizados los cálculos, esta herramienta entregará los resultados como reportes, igualmente, en archivos de texto plano o imágenes de acuerdo a las opciones que haya seleccionado el usuario.

Debe tenerse claro, entonces, que antes de usar el programa, se debe tener los mapas digitalizados SDF y que, para cada cálculo, el usuario debe generar los archivos de entrada con los datos de los sitios. Esto se verá en detalle en las secciones posteriores.

Los mapas generados por SPLAT! se construyen en base a la altura de los puntos sobre el nivel del mar y se los asocia con un color de escala de grises, así: a mayor altura, un punto tendrá un color más claro en el mapa.

Cálculos de radioenlace punto a punto

Para el cálculo de enlaces punto a punto, se requieren conocer las coordenadas de los sitios de transmisión y recepción, las

alturas de las antenas sobre el terreno²¹ y la frecuencia de enlace.

Con estos parámetros, es posible obtener:

- 1 Reporte detallado de los sitios de transmisión y recepción (altura S.N.M, azimut, etc).
- 2 Perfil del terreno entre el receptor y el transmisor.
- 3 Perfil del terreno con línea de vista y, en caso de ser necesario, la altura que habría que elevarse las antenas para conseguir línea de vista.
- 4 Gráfico de la zona de Fresnel con el porcentaje de despeje requerido por el usuario.
- 5 Ángulo de elevación de las antenas de transmisión y recepción.

Para el cálculo de un radioenlace punto a punto se requieren los parámetros del transmisor (cuadro 4) y receptor (cuadro 5).

Cuadro 4.- Parámetros del transmisor

Sitio de Transmisión Latitud Longitud Altura de la antena sobre el nivel del terreno Polarización de la antena Frecuencia de Transmisión Potencia Efectiva Radiada
--

21 No la altura del sitio sobre el nivel del mar ya que esta es leída por el programa de los mapas SDF obtenidos de los SRTM3.

Cuadro 5.- Parámetros del receptor

Sitio de Recepción
Latitud
Longitud
Altura de la antena sobre el nivel del terreno
Polarización de la antena
Frecuencia de Transmisión
Sensibilidad del receptor

A excepción de la sensibilidad del receptor, esos son los parámetros que se deben declarar en los archivos de texto plano que utiliza SPLAT!.

Los archivos de entrada de texto plano que deben contener los datos arriba descritos son:

Archivo del sitio de transmisión: nombre_tx.qth.

Archivo del sitio de recepción: nombre_rx.qth.

Archivo de parámetros ITM o Longley Rice: splat.lrp.

Los archivos de sitio .qth del transmisor y receptor tienen el mismo formato; esto es:

Contenido del archivo sitio.qth

Nombre del sitio (evitar caracteres especiales como tildes y ñ).
Latitud en grados decimales o GMS (positivo al norte, negativo al sur).
Longitud en grados decimales o GMS.
Altura de la antena sobre el nivel del terreno.

En este archivo, cada línea contiene información que el programa leerá, y por tanto, no es recomendable insertar comentarios, ni otra información.

Por ejemplo, para la ciudad de Quevedo²², con coordenadas 1°1'53.39" sur y 79° 27' 48.19" oeste, con una antena de 25 metros sobre el nivel del terreno, el archivo al cual denominaremos `quevedo.qth` sería:

quevedo.qth

```
Quevedo
-1 -1 -53.9
79 27 48.19
25 m
```

Y para el cerro Cochabamba,²³ con coordenadas 1° 58' 38" sur y 79° 32' 59" oeste, con una antena de 25 metros sobre el nivel del terreno, el archivo el archivo al cual denominaremos `cochabamba.qth` sería:

cochabamba.qth

```
Cerro Cochabamba
-1 -58 -38
79 32 59
25 m
```

Obsérvese que tanto en los nombres de los archivos como en el contenido de los mismos no se usan caracteres especiales como tildes o ñ.

Los datos de potencia del transmisor, frecuencia de trabajo, polarización de la antena y características del medio y del terreno, se ingresan en el archivo del mismo nombre del **sitio.qth**, pero con extensión **.lrp**. En este caso, por ejemplo, para **quevedo.qth** sería **quevedo.lrp**.

²² Ecuador, provincia de Los Ríos.

²³ Ubicado en la provincia de Bolívar y que sirve a la provincia de Los Ríos.

En caso de que este archivo no exista, SPLAT! buscará en la carpeta de trabajo el archivo `splat.lrp`.

El archivo `splat.lrp` contiene los parámetros para el Modelo de Terreno Irregular²⁴ que le permiten determinar:

- Pérdidas por trayectoria RF,
- Intensidad de campo o nivel de la potencia de la señal-recibida.²⁵

El archivo `splat.lrp` o su equivalente tiene el siguiente formato: archivo ***splat.lrp***.

Cuadro 6.- Opciones por defecto del archivo `splat.lrp`

15.000 ; Earth Dielectric Constant (Relative permittivity)
 0.005 ; Earth Conductivity (Siemens per meter)
 301.000 ; Atmospheric Bending Constant (N-Units)
 300.000 ; Frequency in MHz (20 MHz to 20 GHz)
 5 ; Radio Climate
 0 ; Polarization (0 = Horizontal, 1 = Vertical)
 0.50 ; Fraction of Situations
 0.50 ; Fraction of Time
 0.00 ; Transmitter Effective Radiated Power in Watts or dBm (optional)
 Please consult SPLAT! documentation for the meaning and use of this data.

Los parámetros séptimo y octavo en el archivo `.lrp` corresponden al análisis estadístico proporcionado por el modelo ITM. En este ejemplo, SPLAT! devolverá la máxima pérdida de trayectoria que ocurre el 50% de veces (fracción de tiempo, o variabilidad Tiempo) en el 50% de las situaciones (fracción de situaciones, o variabilidad de Situaciones). Esto es a menudo denotado como $F(50,50)$.²⁶

²⁴ ITM o *Longley Rice*

²⁵ Dependiendo si se ha declarado una potencia en el archivo `splat.lrp`.

²⁶ Manual SPLAT! (2011).

Un criterio F(50,90) se puede usar para cálculos de televisión digital (8-level VSB modulation), mientras que F(50,50) se usa para radiodifusión analógica (VSB-AM+NTSC)²⁷.

Si la potencia del transmisor no se declara, los cálculos de se realizarán en base a pérdidas en dB.

Los códigos de Clima de Radio usados por SPLAT! se muestran en el cuadro 7:

Cuadro 7.- Códigos de Clima de Radio usados por SPLAT!	
Código	Lugar
1	Ecuatorial (Congo)
2	Subtropical Continental (Sudan)
3	Subtropical Marítimo (Costa Oeste de África)
4	Desierto (Sahara)
5	Continental Temperado
6	Temperado Marítimo, sobre la tierra (UK y costa este de US & EU)
7	Temperado Marítimo, sobre el mar

Las constantes dieléctricas típicas de la tierra y sus valores de conductividad²⁸ tomado del manual de SPLAT! se muestran en el cuadro siguiente:

²⁷ Manual SPLAT!.

²⁸ Manual de SPLAT!.

Cuadro 8.- Constantes dieléctricas de conductividad de la tierra		
Lugar	Constante Dieléctrica	Conductividad
Agua salada	80	5.000
Buena tierra	25	0.020
Agua fresca	80	0.010
Tierra pantanosa	12	0.007
Campos agrícolas, bosque	15	0.005
Promedio de la tierra	15	0.005
Montaña, arena	13	0.002
Ciudad	5	0.001
Tierra pobre	4	0.001

Sintaxis de SPLAT!

La sintaxis de SPLAT! cumple con la forma tradicional de comandos en GNU/Linux, esta es:

splat <archivos de entrada> <opciones> <archivos de salida> .

Por tanto, es necesario conocer el formato de los archivos de entrada, de salida y las opciones del programa.

Del conjunto global de opciones que se muestran en el cuadro 2, las que se pueden usar para el cálculo de radioenlaces son las que se muestra en el cuadro 9.

Cuadro 9.- Opciones para radioenlace punto a punto***SPLAT! v1.4.0 Archivos de entrada y opciones para radioenlaces punto a punto***

- t txsite(s).qth (sitio de transmisión, max 4 con -c, max 30 con -L)
- r rxsite.qth (sitio de recepción)
- s nombres de archivos(s) de ciudades/sitios para importar (máximo 5)
- b nombres de archivos(s) de límites cartográficos para importar (máximo 5)
- p nombre de archivo para graficar el perfil del terreno
- e nombre de archivo para graficar la elevación del terreno
- h nombre de archivo para graficar la altura del terreno
- H nombre de archivo para graficar la altura normalizada del terreno
- l nombre de archivo para graficar pérdidas por trayectoria
- o nombre de archivo para generar el mapa topográfico (.ppm)
- d ruta al directorio que contiene los archivos de mapas sdf (en lugar de ~/.splat_path)
- m multiplicador del radio de la tierra
- n no grafica las rutas de LDV in mapas .ppm
- N no produce reportes innecesarios del sitio ó reportes de obstrucción
- f frecuencia para el cálculo de la zona de Fresnel (MHz)
- nf no grafica la zona de Fresnel en los gráficos de altura
- fz porcentaje de despeje de la zona de Fresnel (default = 60)
- gc Altura del clutter del terreno (pies/metros)
- erp valor ERP en lugar del declarado en el archivo .lrp (Watts)
- kml genera un archivo compatible Google Earth .kml (para enlaces punto-punto)
- geo genera un archivo Xastir de georeferencia .geo (con salida .ppm)
- metric emplea unidades métricas para todas las I/O del usuario
- olditm invoca el viejo modelo de propagación ITM en lugar del nuevo ITWOM

Archivos de Entrada

Los siguientes corresponden a archivos de entradas de datos requeridos para el cálculo de radioenlaces:

-t txsite(s).qth y -r rxsite.qth (máximo 4), corresponden a los archivos de texto plano que contienen los datos de los sitios de transmisión y recepción.

-s nombres_de_archivos(s).dat (máximo 5), corresponden a archivos de texto plano que contienen los datos de coordenadas y nombres de ciudades o sitios que serán importados por SPLAT!! para graficar puntos georeferenciados en un mapa de escala de grises. El formato del archivo contiene:

nombre del sitio, latitud, longitud

y acepta coordenadas en grados decimales o grados, minutos segundos, por ejemplo:

```
Santo Domingo, 0 -14 -59, 79 10 8
El Carmen, 0 -16 -40, 79 27 30
Buena Fe, 0 -53 -45, 79 27 59
Quevedo, -1 -1 -10, 79 27 30
El Empalme, -1 -2 -30, 79 38 30
Flavio Alfaro, 0 -24 -1, 79 54 1
Sigchos, 0 -42 -14, 78 53 15
```

-b nombres_de_archivos(s).dat (máximo 5), corresponden a archivos de texto plano que contienen los datos de límites cartográficos construidos a base de líneas georeferenciadas y que serán graficados como límites o fronteras políticas sobre el mapa de escala de grises, por ejemplo, como parte de un archivo limites.dat.

```
1
-79.054755 -5.009173
-79.060842 -5.001399
-79.062529 -5.000079
-79.062602 -5.000006
END
```

Opciones

Las opciones permiten decirle al programa SPLAT! qué parámetros debe utilizar y que archivo de reporte o gráficos se quiere obtener como salida.

En una breve categorización de las opciones para el cálculo de radioenlaces, se las pueden clasificar como:

Opciones de configuración del comportamiento de la herramienta

- metric** emplea unidades métricas para todas las I/O del usuario.
- d** ruta al directorio que contiene los archivos sdf (en lugar de *~/splat_path*).
- m** multiplicador del radio de la tierra.
- n** no grafica las rutas de LDV en mapas .ppm.
- N** no produce reportes innecesarios del sitio o reportes de obstrucción.
- olditm** invoca el viejo modelo de propagación ITM en lugar del nuevo ITWOM.

Opciones que ingresan parámetros de cálculo

- f** frecuencia para el cálculo de la zona de Fresnel (MHz).
- nf** no grafica la zona de Fresnel en los gráficos de altura.
- fz** porcentaje de despeje de la zona de Fresnel (default 60%).
- gc** Altura del clutter del terreno (pies/metros).
- erp** valor ERP en lugar del declarado en el archivo .lrp (Watts).

Archivos de salida

Las siguientes opciones definen los archivos de salida o gráficos que se quieren obtener como resultado de los cálculos:

- p** nombre de archivo para graficar el perfil del terreno.
- e** nombre de archivo para graficar la elevación del terreno.
- h** nombre de archivo para graficar la altura del terreno.
- H** nombre de archivo para graficar la altura normalizada del terreno.

- l nombre de archivo para graficar pérdidas por trayectoria.
- o nombre de archivo para generar el mapa topográfico (.ppm).

SPLAT! puede generar archivos en formato compatible con Google earth o Xastir, de tal manera que puedan ser abiertos en estas herramientas. Las siguientes opciones permiten esto:

- kml genera un archivo compatible Google Earth .kml (para enlaces punto-punto).
- geo genera un archivo Xastir de georeferencia .geo (con salida .ppm).

Ejercicios de cálculos punto a punto con SPLAT!

Para los ejercicios desarrollados, asumiremos que los mapas sdf se encuentran dentro de la carpeta **/opt/splat/sdf**; sin embargo el usuario deberá apuntar la opción -d a la carpeta donde contenga sus mapas sdf.

Perfil del terreno

Finalmente, estamos listos para realizar los cálculos con SPLAT!. Usaremos inicialmente los archivos quevedo.qth, como sitio de transmisión, y cochabamba.qth, como sitio de recepción, los mapas sdf estarán ubicados en **/opt/splat/sdf**.

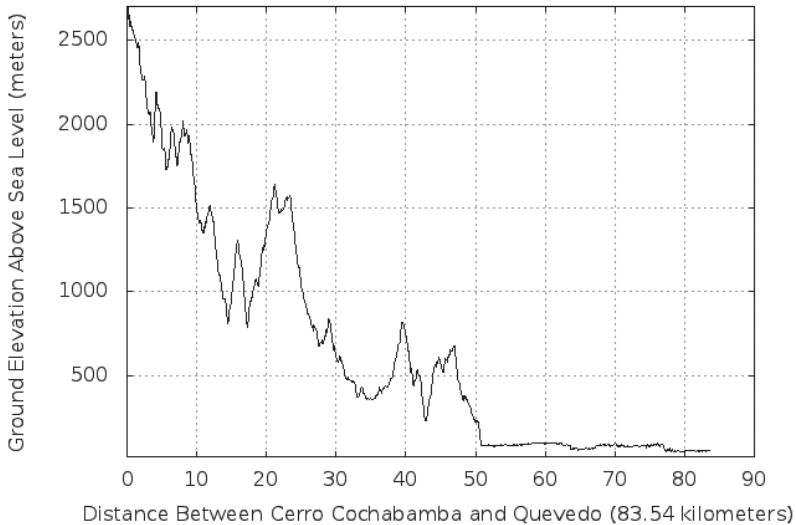
Primero graficaremos el perfil del terreno, para ello, llamaremos al comando SPLAT!! con los archivos de entrada descritos y la opción -p y la opción -metric para trabajar con el sistema métrico, el archivo de salida lo llamaremos quevedo-cochabamba.png. Para ello digitamos la instrucción:

```
splat -t quevedo.qth -r cochabamba.qth -d /opt/splat/sdf  
-metric -p quevedo-cochabamba.png.
```

Con esto obtendremos como salida el gráfico quevedo-cochabamba.png (gráfico 1). Observe que el sitio de recepción se ubica en la izquierda y el de transmisión a la derecha del gráfico:

Gráfico 1.- Enlace Quevedo - Cochabamba

SPLAT! Terrain Profile Between Cerro Cochabamba and Quevedo (332.14° Azi



Adicionalmente al gráfico, dentro de la misma carpeta de trabajo, se generan los archivos de reporte del sitio y de línea de vista, estos son: Quevedo-site_report.txt y Quevedo-to-Cerro_Cochabamba.txt. Obsérvese que los nombres de los archivos corresponden a los nombres de los sitios que se declararon en los respectivos archivos quevedo.qth y cochabamba.qth.

En Quevedo-site_report.txt, encontraremos información de los datos del sitio; como coordenadas, altura de la antena sobre el nivel el mar y altura del sitio sobre el nivel del mar, como se aprecia a continuación:

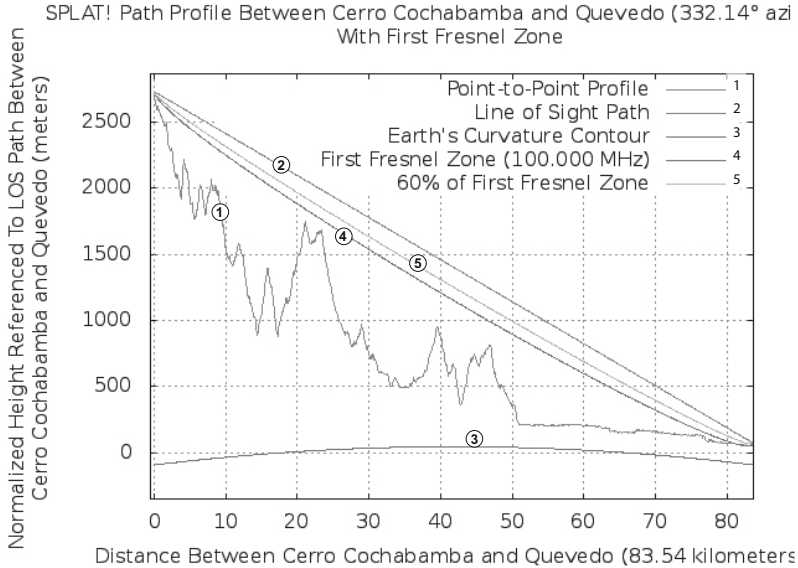
[SPLAT! v1.4.0 Site Analysis Report For: Quevedo]
Site location: 1.0316 South / 79.4634 West (-1° 1' 53" S / 79° 27' 48" W Ground elevation: 52.00 meters AMSL Antenna height: 25.00 meters AGL / 77.00 meters AMSL

El archivo generado Quevedo-to-Cerro_Cochabamba.txt contiene información de los sitios de transmisión y recepción, como coordenadas, altura de los sitios sobre el nivel del mar, ángulo de elevación y depresión de las antenas y azimut. Adicionalmente, emite un reporte de las obstrucciones encontradas a lo largo del trayecto, esto se muestra a continuación:

[SPLAT! v1.4.0 Path Analysis]
Transmitter site: Quevedo Site location: 1.0316 South / 79.4634 West (-1° 1' 53" S / 79° 27' 48" W Ground elevation: 52.00 meters AMSL Antenna height: 25.00 meters AGL / 77.00 meters AMSL Distance to Cerro Cochabamba: 83.54 kilometers Azimuth to Cerro Cochabamba: 152.14 degrees Elevation angle to Cerro Cochabamba: +1.4430 degrees
Receiver site: Cerro Cochabamba Site location: 1.6958 South / 79.1122 West (-1° 41' 44" S / 79° 6' 44" W Ground elevation: 2703.00 meters AMSL Antenna height: 25.00 meters AGL / 2728.00 meters AMSL Distance to Quevedo: 83.54 kilometers Azimuth to Quevedo: 332.14 degrees Depression angle to Quevedo: -2.1938 degrees
No obstructions to LOS path due to terrain were detected by SPLAT!

Debido a que esta es una trayectoria con línea de vista no se muestra un reporte detallado de obstrucciones ni se reporta una altura para elevar las antenas de transmisión y recepción ya que no es necesario.

Gráfico 2.- Enlace Quevedo - Cochabamba, altura normalizada



El perfil levantado en el gráfico 1 no considera la curvatura de la tierra, el objetivo del cálculo anterior solo sirve para determinar si existen o no obstrucciones de línea de vista.

Perfil del terreno considerando la curvatura de la tierra

Para considerar la curvatura de la tierra, se pueden considerar las opciones **-H** y **-h**. La primera muestra el perfil normalizado mientras que la segunda muestra el perfil referenciado a la línea de vista, esta última muy útil si se quiere determinar la altura de las obstrucciones. El índice multiplicador del radio de la tierra es $4/3$, sin embargo con la opción **-m** se pueden usar otros índices.

En el primer caso con la opción -H tendríamos la siguiente instrucción²⁹:

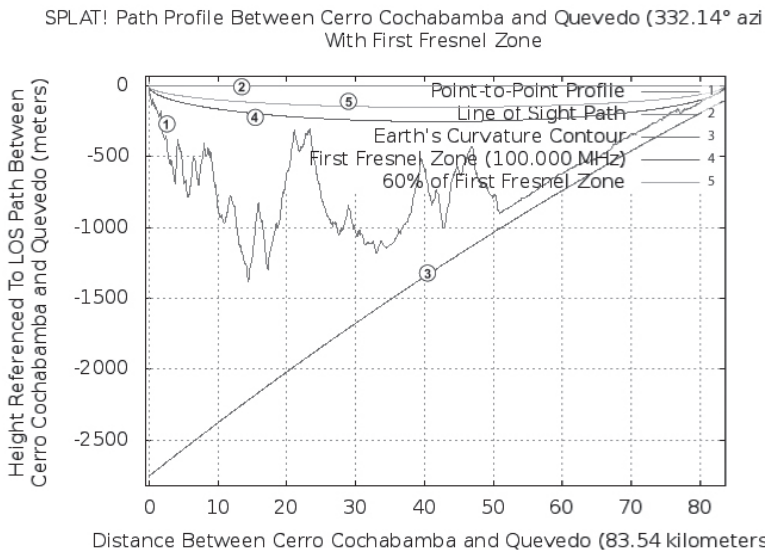
```
splat -t quevedo.qth -r cochabamba.qth -metric -d /opt/  
splat/sdf -H quevedo-cochabamba-H.png
```

El gráfico obtenido a la salida se muestra en figura 2, mientras que con la opción -h tendríamos la siguiente instrucción³⁰:

```
splat -t quevedo.qth -r cochabamba.qth -metric -d /opt/  
splat/sdf -h quevedo-cochabamba-h.png
```

El gráfico obtenido a la salida se muestra en la figura siguiente:

Gráfico 3.- Enlace Quevedo - Cochabamba altura referenciada a LDV



29 Digitada en una sola línea de consola.

30 Digitada en una sola línea de consola.

Nuevamente, con estas dos últimas opciones, se generan los reportes `Quevedo-site_report.txt` y `Quevedo-to-Cerro_Cochabamba.txt` similares a los arriba descritos.

Generación de la ruta del radioenlace sobre un mapa topográfico

Para graficar la ruta del radioenlace sobre un mapa topográfico en escala de grises, en formato `.ppm`³¹, se usa la opción `-o`.

Por ejemplo, para generar la ruta sobre el mapa topográfico del enlace Quevedo - Cochabamba, y considerando adicionalmente las opciones `-b` y `-s` para graficar los límites políticos y poblar el mapa con sitios georeferenciados³², la instrucción sería:

```
splat -t quevedo.qth -r cochabamba.qth -b limites.dat  
-s sitios.dat -d /opt/splat/sdf -o enlace.ppm.
```

Para este ejemplo, los archivos de límites y sitios se encuentran dentro de la carpeta de trabajo³³.

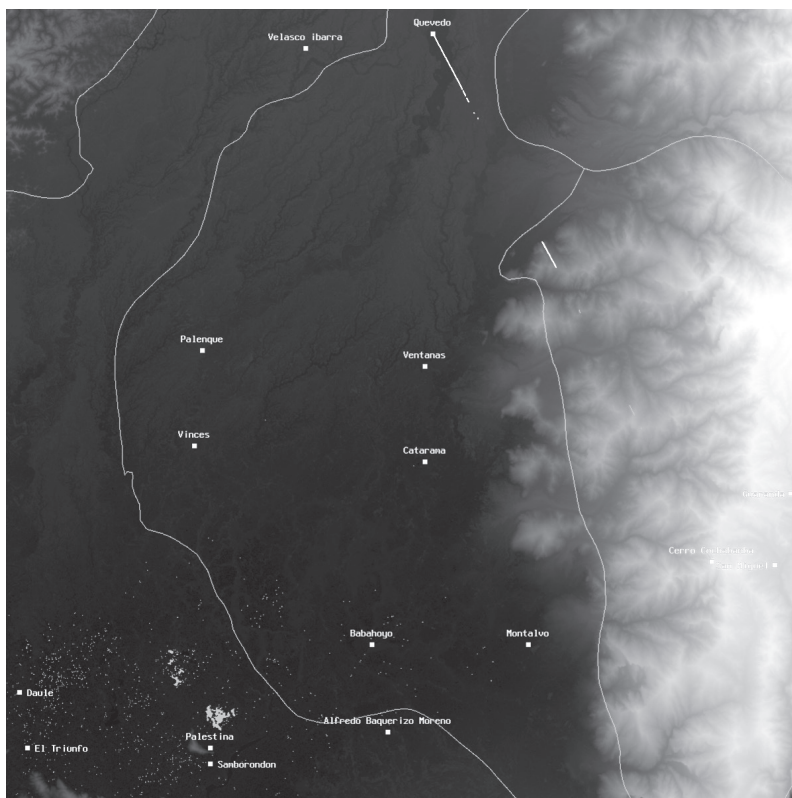
Una vez ejecutada la instrucción previa se genera el mapa de la figura a continuación:

31 Imágenes *TrueColor PixMap Portables* de 24-bit (PPM)

32 Discutidos en la sección “Archivos de entrada”.

33 En el CD que acompaña este texto, el lector podrá encontrar los archivos `sitios.dat` y `limites.dat` dentro de la carpeta `/var/www/splat`, los mismos que le pueden servir de referencia.

Gráfico 4.- Ruta del enlace Quevedo - Cochabamba³⁴



La línea entrecortada que parte desde Quevedo, muestra los lugares en los cuales existe línea de vista. Para convertir el formato .ppm en .png, puede usar el comando `convert`³⁵, es decir en este caso:

convert enlace.ppm enlace.png

34 En el live-CD que acompaña este texto, podrá observar el mapa y la línea de vista con mayor claridad.

35 El convertir archivos en formato .ppm a .png será útil más adelante para generar transparencias y sobreponerlas sobre otros mapas digitalizados.

Cálculo de pérdidas por trayectoria

Nótese que en la carpeta de trabajo del usuario no existe aún el archivo denominado `splat.lrp`, que contiene parámetros como: la frecuencia de enlace, potencia y características del terreno, datos que son necesarios para este cálculo.

Por tanto, inicialmente, no tenemos donde declarar la frecuencia o estos otros parámetros, sin embargo, al correr por primera vez la instrucción de pérdidas por atenuación con la opción “-l” el programa buscará el archivo `splat.lrp` en la carpeta de trabajo. Si este archivo no existe, creará uno con los parámetros por defecto descritos en el cuadro 6, el cual podemos editar de acuerdo a nuestras necesidades y volver a correr la instrucción.

La opción que nos permite obtener el gráfico de pérdidas por trayectoria es **-l** y la instrucción requerida es:

```
splat -t quevedo.qth -r cochabamba.qth -metric -d /opt/  
splat/sdf -l quevedo-cochabamba-l.png
```

El gráfico resultante se muestra en la figura 5 y considera el modelo Itwom para el cálculo de pérdidas por trayectoria. Si se quisiera usar el modelo *Longley-Rice* en lugar de Itwom, la instrucción debería considerar la opción **-olditm**:

```
splat -t quevedo.qth -r cochabamba.qth -metric -d /opt/  
splat/sdf -olditm -l quevedo-cochabamba-lold.png
```

El gráfico obtenido se muestra en el gráfico 6, nótese la diferencia de las curvas de perdidas por trayectoria de los dos modelos matemáticos utilizados por SPLAT!.

La frecuencia por defecto usada inicialmente es 300 MHz. El usuario puede ahora editar el archivo `splat.lrp` y cambiar la frecuencia y otros parámetros que considere necesarios para volver a ejecutar la instrucción.

Gráfico 5.- Pérdidas por trayectoria Itwom Quevedo - Cochabamba

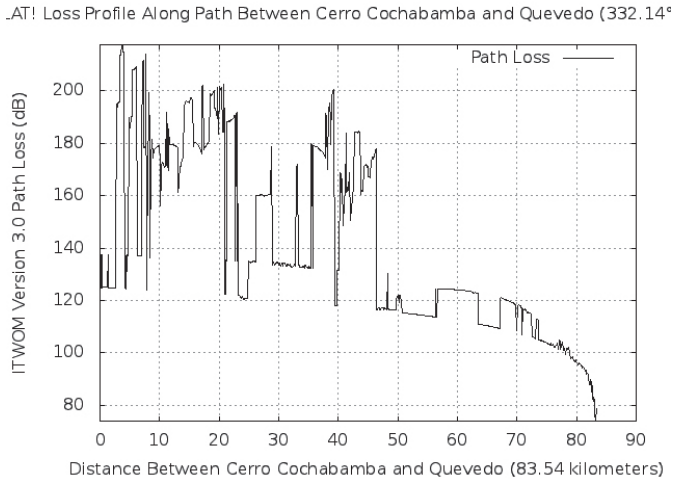
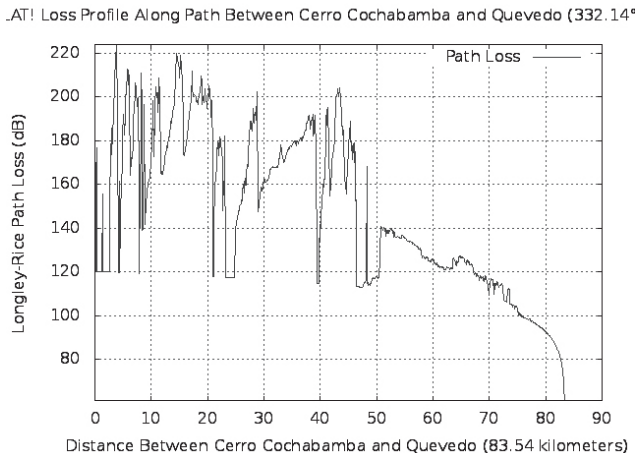


Gráfico 6.- Pérdidas por trayectoria Longley-Rice Quevedo - Cochabamba



Al igual que en los cálculos anteriores, SPLAT! genera un reporte en un archivo de texto plano del sitio y del enlace Quevedo - Cochabamba, pero con la diferencia que ahora incorpora un análisis de pérdidas, que considera las pérdidas en el espacio libre y las pérdidas por la irregularidad del terreno, ya sea del modelo Itwom o *Longley Rice*. Adicionalmente, se informa si la zona de Fresnel está despejada.

Los párrafos iniciales del reporte son similares a los revisados en las opciones anteriores. El lector puede comparar en los cuadros 11 y 12 la diferencia de cálculos entre los modelos Itwom y *Longley Rice*.

Cuadro 11.- Reporte de pérdidas por trayectoria Itwom

ITWOM Version 3.0 Parameters Used In This Analysis:

Earth's Dielectric Constant: 15.000

Earth's Conductivity: 0.005 Siemens/meter

Atmospheric Bending Constant (N-units): 301.000 ppm

Frequency: 300.000 MHz

Radio Climate: 5 (Continental Temperate)

Polarization: 0 (Horizontal)

Fraction of Situations: 50.0%

Fraction of Time: 50.0%

Summary For The Link Between Quevedo and Cerro Cochabamba:

Free space path loss: 120.45 dB

ITWOM Version 3.0 path loss: 120.39 dB

Attenuation due to terrain shielding: -0.05 dB

Mode of propagation: Line of Sight

ITWOM error number: 0 (No error)

No obstructions to LOS path due to terrain were detected by SPLAT!

The first Fresnel zone is clear.

60% of the first Fresnel zone is clear.

Cuadro 12.- Reporte de pérdidas por trayectoria *Longley Rice**Longley-Rice* Parameters Used In This Analysis:

Earth's Dielectric Constant: 15.000 Earth's

Conductivity: 0.005 Siemens/meter

Atmospheric Bending Constant (N-units): 301.000 ppm

Frequency: 300.000 MHz

Radio Climate: 5 (Continental Temperate)

Polarization: 0 (Horizontal)

Fraction of Situations: 50.0%

Fraction of Time: 50.0%

Summary For The Link Between Quevedo and Cerro Cochabamba:

Free space path loss: 120.45 dB

Longley-Rice path loss: 120.32 dB

Attenuation due to terrain shielding: -0.13 dB

Mode of propagation: Longley-Rice model error number: 0 (No error)

No obstructions to LOS path due to terrain were detected by SPLAT!

The first Fresnel zone is clear.

60% of the first Fresnel zone is clear.

Cálculo de ganancias y pérdidas de radioenlace

El cálculo de ganancias y pérdidas para un sistema de radioenlace puede ser desarrollado en base a los resultados obtenidos en el cálculo anterior, pero incorporando la variable de potencia y estableciendo la frecuencia del transmisor en el archivo splar.lrp.

Por ejemplo, el cálculo de radioenlace entre Quevedo y Cochabamba para una potencia de 15 vatios a la salida del transmisor, frecuencia de 426 MHz y antenas del transmisor y receptor de 17.65 dBd, el cálculo sería:

Cuadro 13.- Cálculo de propagación del enlace Quevedo - Cerro Cochabamba

Sitio de Transmisión: Quevedo

Latitud: 01° 01' 53" S
 Longitud: 79° 27' 48" W
 Altura del Sitio: 77 m. SNM
 Altura de la Antena: 25 m.
 Tipo de Antena: Paraflector
 Azimut: 152.14°

Sitio de Recepción: Cerro Cochabamba

Latitud: 01° 41' 44" S
 Longitud: 79° 06' 44" W
 Altura del Sitio: 2728 m. SNM
 Altura de la Antena: 25 m.
 Tipo de Antena: Paraflector
 AZIMUT: 332.14°
 Distancia del Enlace: 83.54 Km.

Cálculos

Frecuencia de Transmisión: 426.0 Mhz.
 Umbral del Receptor: - 77.45 dBm [30 uV]

Ganancias del Sistema

Potencia de Transmisión: 41.76 dBm [15 watts]
 Ganancia Antena TX: 17.65 dBd^a.
 Ganancia Antena RX: 17.65 dBd.
 Total: + 77.06 dB

Pérdidas del Sistema

Pérdidas en 84.07 Km @ 426.0 Mhz: -123.47 dB
 Pérdidas en Línea de Transmisión: -2.89 dB
 Pérdidas en conectores: -0.5 dB
 Total: -126.86 dB

Señal efectiva recibida: -49.8 dBm [716 uV]
 Mínima señal requerida (60 dB SNR): -77.45 dBm [30 uV]
 Margen sobre el umbral de recepción: 27.65 dB

^a La legislación ecuatoriana establece las ganancias de antenas en dBd.

Nótese que la ganancia total del sistema es de 77.06 dB y las pérdidas por línea de transmisión y conectores es de 3.39 dB, con lo cual la ganancia neta sin considerar pérdidas por espacio libre e irregularidad del terreno sería de 73.67 dBm.

Para hacer un cálculo comparativo con SPLAT! debemos usar esa ganancia neta y la frecuencia de 426.0 MHz. Estos dos parámetros los modificamos en el archivo `splat.lrp` de la carpeta de trabajo, con lo que nos quedaría así:

Cuadro 14.- Archivo `splat.lrp` editado

```
15.000 ; Earth Dielectric Constant (Relative permittivity)
0.005 ; Earth Conductivity (Siemens per meter)
301.000 ; Atmospheric Bending Constant (N-Units)
426.000 ; Frequency in MHz (20 MHz to 20 GHz)
5 ; Radio Climate
0 ; Polarization (0 = Horizontal, 1 = Vertical)
0.50 ; Fraction of Situations
0.50 ; Fraction of Time
73.67 dBm ; Transmitter Effective Radiated Power in Watts or dBm (optional)
```

Please consult SPLAT! documentation for the meaning and use of this data.

En esta ocasión, usaremos como nombre para el gráfico de salida `quevedo-cochabamba-l1.png`, con lo que la instrucción³⁶ quedaría:

splat -t quevedo.qth -r cochabamba.qth -metric -d /opt/splat/sdf -l quevedo-cochabamba-l1.png.

Esta instrucción generaría el reporte `Quevedo-to-Cerro_Cochabamba.txt`, el cual en su parte pertinente contiene el resumen de los cálculos de pérdidas por trayectoria que se muestra a continuación y que puede ser comparado con el cálculo manual efectuado arriba:

³⁶ En una sola línea de consola.

Cuadro 15.- Pérdidas por trayectoria Itwom

ITWOM Version 3.0 Parameters Used In This Analysis:

Earth's Dielectric Constant: 15.000

Earth's Conductivity: 0.005 Siemens/meter

Atmospheric Bending Constant (N-units): 301.000 ppm

Frequency: 426.000 MHz

Radio Climate: 5 (Continental Temperate)

Polarization: 0 (Horizontal)

Fraction of Situations: 50.0%

Fraction of Time: 50.0%

Transmitter ERP: 14.223 kilowatts (+71.53 dBm)

Transmitter EIRP: 23.281 kilowatts (+73.67 dBm)

Summary For The Link Between Quevedo and Cerro Cochabamba:

Free space path loss: 123.49 dB

ITWOM Version 3.0 path loss: 124.77 dB

Attenuation due to terrain shielding: 1.27 dB

Field strength at Cerro Cochabamba: 78.75 dBuV/meter

Signal power level at Cerro Cochabamba: -51.10 dBm

Signal power density at Cerro Cochabamba: -67.03 dBW per square meter

Voltage across a 50 ohm dipole at Cerro Cochabamba: 797.44 uV (58.03 dBuV)

Voltage across a 75 ohm dipole at Cerro Cochabamba: 976.66 uV (59.79 dBuV)

Mode of propagation: Line of Sight ITWOM error number: 0 (No error)

No obstructions to LOS path due to terrain were detected by SPLAT!

The first Fresnel zone is clear.

60% of the first Fresnel zone is clear.

Nótese que la diferencia de la intensidad de señal en el receptor se debe al parámetro adicional de pérdidas por irregularidad del terreno, que incluye el modelo matemático usado por SPLAT!; con lo cual, los resultados son muy consistentes.

El gráfico de pérdidas obtenido con esta instrucción se muestra en el gráfico 7.

Cálculo de la zona de Fresnel y despejamiento de la misma

Si se quiere calcular la zona de Fresnel y determinar si esta se encuentra despejada, debe considerar que antes de calcular y graficar la zona de Fresnel, debe haber calculado

las pérdidas por trayectoria del apartado anterior, de esta manera el archivo `splat.lrp` a estará disponible para que edite el parámetros de frecuencia y el programa grafique la zona de Fresnel.

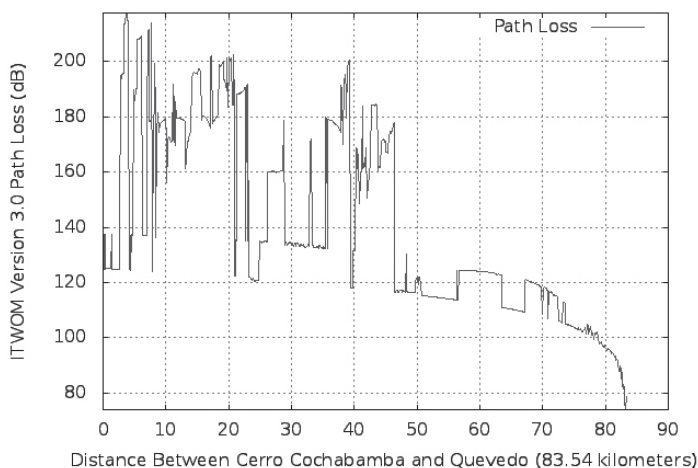
En este ejemplo se usará una frecuencia de 900.25 MHz. La instrucción³⁷:

splat -t quevedo.qth -r cochabamba.qth -metric -d /opt/splat/sdf -f 900.25 -H quevedo-cochabamba-F.png

Generará³⁸ el gráfico 8.

Gráfico 7.- Pérdidas por trayectoria ITWOM

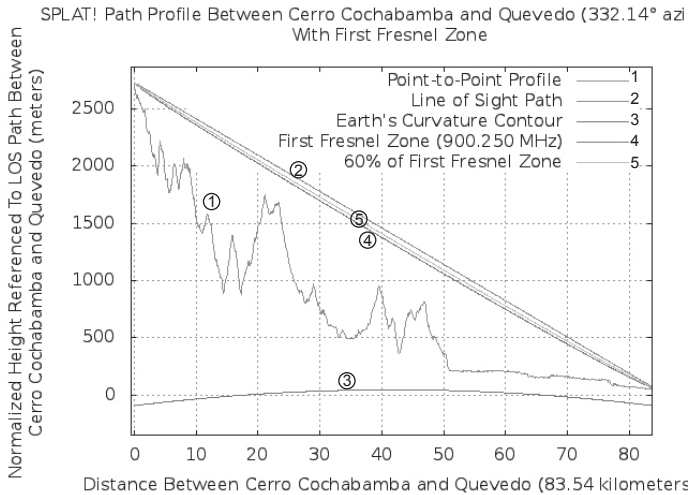
..AT! Loss Profile Along Path Between Cerro Cochabamba and Quevedo (332.14°



37 En una sola línea de consola.

38 Si el gráfico solo muestra la recta de línea de vista, es probable que el archivo `splat.lrp` no exista en la carpeta de trabajo. Ejecute previamente la opción `-l` para que `splat.lrp` se genere automáticamente.

Gráfico 8.- Zona de Fresnel Quevedo - Cochabamba



De igual manera que en los casos anteriores, se generarán los archivos de reporte del sitio de transmisión y del enlace Quevedo - Cochabamba similares a los anteriores.

Exportar a *Google earth*

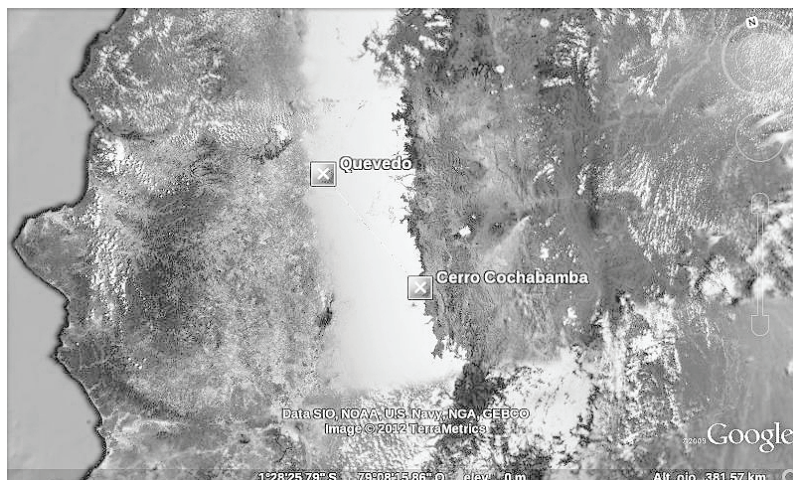
SPLAT! permite exportar los resultados a *Google earth* y Xastir, con lo cual se puede explorar interactivamente los resultados. Para ello, basta con usar la opción `-kml`, es decir:

```
splat -t quevedo.qth -r cochabamba.qth -metric -d /opt/  
splat/sdf -kml.
```

En este caso, esta instrucción genera un archivo denominado `Quevedo-to-Cerro_Cochabamba.kml`, el cual puede ser abierto desde *Google earth*, el cual mostrará la ruta del enlace descrito.

La imagen exportada desde *Google earth* se muestra en el gráfico 9.

Gráfico 9.- Imagen exportada desde *Google earth*



Cálculo de Cobertura Regional o punto a zona

SPLAT! permite la predicción de zonas de cobertura, con un análisis de línea de vista o pérdidas por trayectoria alrededor de un sitio de transmisión y receptada en una antena a L metros sobre el nivel del terreno³⁹.

El análisis se realiza 360° alrededor del punto de transmisión, lo que hace que si el sitio de transmisión tiene una altura considerable y existe mucha irregularidad de terreno alrededor de el, este cálculo sea demorado y consuma recursos de máquina, así que, cuando se cumplan estas condiciones, ejecute la instrucción y tómese un café mientras tanto.

39 La UIT recomienda 10 metros sobre el nivel del terreno.

Cuadro 16.- Opciones de SPLAT! para el cálculo de áreas de cobertura

- t txsite(s).qth (sitio de transmisión, max 4 con -c, max 30 con -L)
- c grafica área(s) de cobertura del Tx(s) con antena Rx a X pies/mts SNT
- L grafica mapa de pérdida por trayectoria del TX y antena RX a X pies/mts SNT
- s nombres de archivos(s) de ciudades/sitios para importar (máximo 5)
- b nombres de archivos(s) de límites cartográficos para importar (máximo 5)
- o nombre de archivo para generar el mapa topográfico (.ppm)
- d ruta al directorio que contiene los archivos sdf (en lugar de ~/.splat_path)
- m multiplicador del radio de la tierra -n no grafica las rutas de LDV in mapas .ppm
- N no produce reportes innecesarios del sitio ó reportes de obstrucción
- R modifica el rango por defecto para -c ó -L (millas/kilómetros)
- sc presenta niveles de contornos suavizados en lugar de cuantizados
- db Umbral bajo el cual los contornos no serán presentados
- ngs presenta la topografía de escala de grises como blanco en archivos .ppm
- erp valor ERP en lugar del declarado en el archivo .lrp (Watts)
- kml genera un archivo compatible Google Earth .kml (para enlaces punto-punto)
- dbm dibuja contornos de nivel de potencia de señal en lugar de intensidad de campo
- geo genera un archivo Xastir de georeferencia .geo (con salida .ppm)
- gpsav preserva los archivos temporales gnuplot después de ejecutar SPLAT!
- metric emplea unidades métricas para todas las I/O del usuario
- olditm invoca el viejo modelo de propagación ITM en lugar del nuevo ITWOM

Las opciones de línea-de-comando para splat y splat-hd son idénticas.

Archivos de entrada

Los archivos de entrada se trataron con detalle en la sección correspondiente.

Opciones

Las opciones permiten decirle al programa SPLAT! qué parámetros debe utilizar y qué archivo de reporte o gráficos se quiere obtener como salida.

En una breve categorización de las opciones para el cálculo de áreas de cobertura, se las pueden clasificar como:

Opciones de configuración del comportamiento de la herramienta:

- metric** emplea unidades métricas para todas las I/O del usuario.
- d** ruta al directorio que contiene los archivos sdf (en lugar de ~/.splat_path).
- m** multiplicador del radio de la tierra.
- N** no produce reportes innecesarios del sitio ó reportes de obstrucción.
- erp** valor ERP en lugar del declarado en el archivo .lrp (Watts).
- olditm** invoca el viejo modelo de propagación ITM en lugar del nuevo ITWOM.
- sc** presenta niveles de contornos suavizados en lugar de cuantizados.
- gpsav** preserva los archivos temporales gnuplot después de ejecutar SPLAT!

Opciones que ingresan parámetros de cálculo:

- c** grafica área(s) de cobertura del Tx(s) con antena Rx a X pies/mts SNT.
- L** grafica mapa de pérdida por trayectoria del TX y antena RX a L pies/mts SNT.
- R** modifica el rango por defecto para -c ó -L (millas/kilómetros).
- db** umbral bajo el cual los contornos no serán presentados
- erp** valor ERP en lugar del declarado en el archivo .lrp (Watts).
- dbm** dibuja contornos de nivel de potencia de señal en lugar de intensidad de campo.
- gc** altura del clutter del terreno (pies/metros).

Archivos de salida

Las siguientes opciones definen los archivos de salida o gráficos que se quieren obtener como resultado de los cálculos.

-o nombre de archivo para generar el mapa topográfico (.ppm).

-ngs presenta la topografía de escala de grises como blanco en archivos .ppm.

SPLAT! puede generar archivos en formato compatible con Googleearth o Xastir, de tal manera que puedan ser abiertos en estas herramientas, las siguientes opciones permiten esto:

-kml genera un archivo compatible *Google earth* .kml

-geo genera un archivo Xastir de georeferencia .geo (con salida .ppm).

Ejercicios de cálculos de área de cobertura con SPLAT!

Nuevamente, asumiremos que los mapas sdf se encuentran dentro de la carpeta /opt/splat/sdf, sin embargo, el usuario deberá apuntar la opción -d a la carpeta donde contenga los mapas sdf.

Gráfico de área de línea de vista

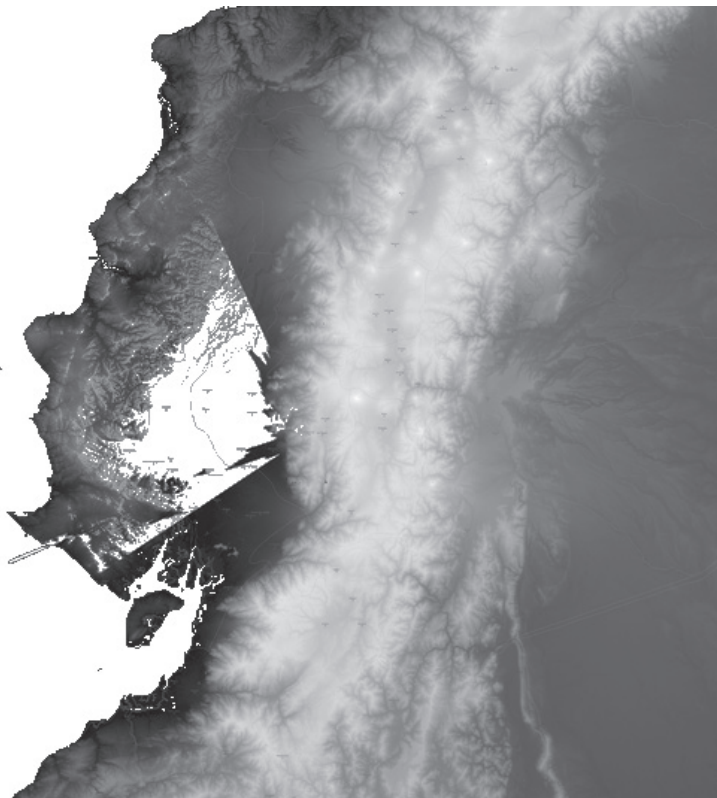
La opción -c permite graficar el contorno de línea de vista alrededor de un punto de transmisión con una antena receptora a c metros sobre el terreno, el gráfico se presenta en un mapa en formato .ppm en escala de grises.

Por ejemplo, para el Cerro Cochabamba usaremos el archivo cochabamba.qth que contiene el nombre y las coordenadas del sitio en el formato descrito arriba. La instrucción para realizar este cálculo sería:

```
splat -t cochabamba.qth -d /opt/splat/sdf -c 10 -metric -o  
cobertura-cocha.ppm
```

El gráfico obtenido se muestra a continuación:

Gráfico 10.- Área de cobertura de línea de vista desde el cerro Cochabamba



Al igual que en otros cálculos, SPLAT! genera archivos de texto plano, en este caso **Cerro_Cochabamba-site_report.txt** que contiene información del sitio de transmisión y también del cálculo de la altura promedio del terreno, de acuerdo a

la recomendación de la UIT⁴⁰ como el promedio del terreno entre 3 y 15 kilómetros de los radiales cada 45° alrededor del sitio de transmisión que se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro 17.- Reporte Cerro_Cochabamba-site_report.txt
[SPLAT! v1.4.0 Site Analysis Report For: Cerro Cochabamba]
Site location: 1.6958 South / 79.1122 West (-1° 41' 44" S / 79° 6' 44" W) Ground elevation: 2703.00 meters AMSL Antenna height: 25.00 meters AGL / 2728.00 meters AMSL Antenna height above average terrain: 649.38 meters
Average terrain at 0 degrees azimuth: 2073.68 meters AMSL Average terrain at 45 degrees azimuth: 2868.23 meters AMSL Average terrain at 90 degrees azimuth: 2668.06 meters AMSL Average terrain at 135 degrees azimuth: 2767.42 meters AMSL Average terrain at 180 degrees azimuth: 2199.51 meters AMSL Average terrain at 225 degrees azimuth: 1182.24 meters AMSL Average terrain at 270 degrees azimuth: 1378.17 meters AMSL Average terrain at 315 degrees azimuth: 1491.65 meters AMSL

Gráfico del área de pérdidas por trayectoria

La opción -L permite graficar el contorno de pérdidas o intensidad de campo alrededor de un punto de transmisión con una antena a L metros sobre el terreno. El gráfico resultante se presenta en un mapa en formato .ppm en escala de grises y relaciona las pérdidas o intensidad de la señal con colores.

Por ejemplo, para el Cerro Cochabamba usaremos el archivo cochabamba.qth descrito arriba.

Para realizar este cálculo, es necesario declarar en el archivo splat.lrp la frecuencia y potencia de transmisión y, si es necesario, editar otros parámetros.

40 Unión Internacional de Telecomunicaciones.

En este caso se declara una potencia de 1000 vatios de potencia efectiva radiada y una frecuencia de 100.0 MHZ, el archivo `splat.lrp` resultante se muestra en el cuadro siguiente:

Cuadro 18.- Archivo `splat.lrp`

```
15.000 ; Earth Dielectric Constant (Relative permittivity)
0.005 ; Earth Conductivity (Siemens per meter)
301.000 ; Atmospheric Bending Constant (N-Units)
100.000 ; Frequency in MHz (20 MHz to 20 GHz)
5 ; Radio Climate
0 ; Polarization (0 = Horizontal, 1 = Vertical)
0.50 ; Fraction of Situations
0.50 ; Fraction of Time
1000 ; Transmitter Effective Radiated Power in Watts or dBm (optional)
```

Please consult SPLAT! documentation for the meaning and use of this data

La instrucción⁴¹ para realizar este cálculo sería:

splat -t cochabamba.qth -d /opt/splat/sdf -b limites.dat -s sitios.dat -oldtitm -L 10 -metric -o cobertura-cocha.ppm

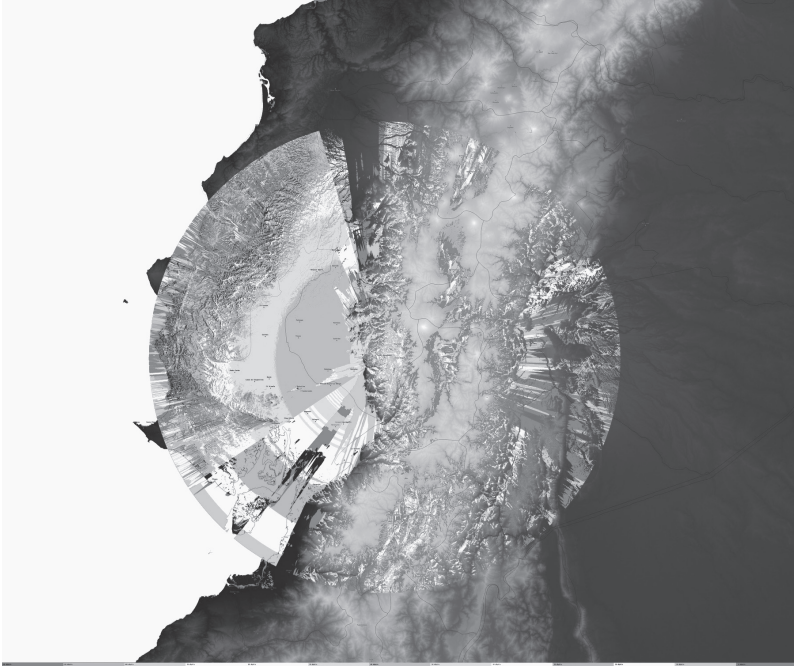
El gráfico obtenido se muestra en la página siguiente.

El archivo de reporte de sitio es similar al mostrado en el cuadro 17.

Cuando se declara la potencia en el archivo `splat.lrp`, los colores de las áreas que se muestran en el mapa se relacionan con intensidades de campo en dBuV/m, y para apreciar de mejor manera esta relación, el gráfico 12 muestra una imagen agrandada de la relación de colores con intensidades de campo, en donde como ejemplo se puede apreciar que a cada tonalidad le corresponde a una intensidad de campo distinta.

41 Los archivos `limites.dat` y `sitios.dat` discutidos previamente se encuentran en la carpeta de trabajo del usuario.

Gráfico 11.- Área de pérdidas por trayectoria



Cuando se ejecuta por primera vez un cálculo del área de pérdidas por trayectoria y se declara una potencia en el archivo `splat.lrp`, en la carpeta de trabajo del usuario se crea un archivo de texto plano `.scf` con el mismo nombre base del sitio de transmisión `.qth` que relaciona los colores en RGB con intensidades de campo. En este caso se llama `cochabamba.scf` y su contenido se muestra en el cuadro 19;

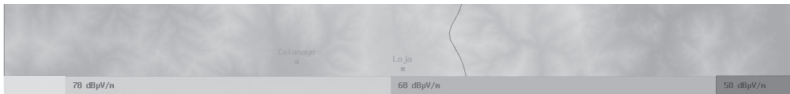
Cuadro 19.- Archivo cochabamba.scf

SPLAT! Auto-generated Signal Color Definition ("cochabamba.scf") File

```
;
; Format for the parameters held in this file is as follows:
;
; dBuV/m: red, green, blue
;
; ...where "dBuV/m" is the signal strength (in dBuV/m) and
; "red", "green", and "blue" are the corresponding RGB color
; definitions ranging from 0 to 255 for the region specified.
;
; The following parameters may be edited and/or expanded
; for future runs of SPLAT! A total of 32 contour regions
; may be defined in this file.
;
;
128: 255, 0, 0
118: 255, 165, 0
108: 255, 206, 0
98: 255, 255, 0
88: 184, 255, 0
78: 0, 255, 0
68: 0, 208, 0
58: 0, 196, 196
48: 0, 148, 255
38: 80, 80, 255
28: 0, 38, 255
18: 142, 63,
255 8: 140, 0, 128
```

Cuadro 20.- Archivo cochabamba.scf editado

```
; SPLAT! Auto-generated Signal Color Definition ("cochabamba.scf") File
;
; Format for the parameters held in this file is as follows:
;
; dBuV/m: red, green, blue
;
; ...where "dBuV/m" is the signal strength (in dBuV/m) and
; "red", "green", and "blue" are the corresponding RGB color
; definitions ranging from 0 to 255 for the region specified.
;
; The following parameters may be edited and/or expanded
; for future runs of SPLAT! A total of 32 contour regions
; may be defined in this file.
;
;
128: 255, 0, 0
54: 0, 208, 0
30: 0, 196, 196
```

Gráfico 12.- Relación de colores con intensidad de campo

El marco regulatorio de cada país establece las zonas primarias y secundarias para el cálculo de las zonas de cobertura, por ejemplo, en Ecuador, para estaciones FM de potencia normal se establece una intensidad de campo de 54 dBuV/m para la zona primaria y 30 dBuV/m para la zona secundaria.

Tomando como referencia que 68 dBuV/m se relaciona con el gris claro y 58 dBuV/m con el gris oscuro (gráfico 12), el archivo cochabamba.scf se puede editar como se muestra en el cuadro 20 para que grafique:

- El sitio de transmisión en rojo⁴² con 128 dBuV/m
- La zona primaria de 54 dBuV/m en verde⁴³, y;
- La zona secundaria de 30 dBuV/m en celeste⁴⁴

Luego de editar el archivo `cochabamba.scf` y ejecutar nuevamente la instrucción:

splat -t cochabamba.qth -d /opt/splat/sdf -b limites.dat -s sitios.dat -oldtitm -L 10 -metric -o cobertura-cocha.ppm,

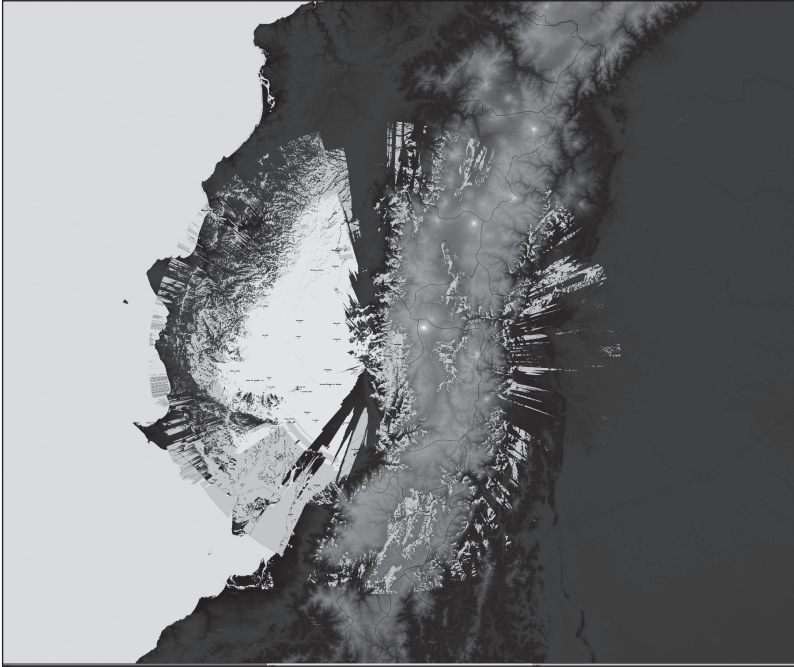
se genera un gráfico que relaciona los colores definidos en el cuadro 20 con las intensidades de señal correspondientes. El gráfico resultante se muestra en el gráfico 13 donde se podrá apreciar en color verde el área limitada por una intensidad de campo de 54 dBuV/m y en color celeste el área limitada por una intensidad de campo de 30 dBuV/m, ejercicio que el lector podrá comprobar en el *live-cd* que acompaña este texto.

42 RGB 128: 255, 0, 0 con 128 dBuV/m.

43 RGB 0, 208, 0.

44 RGB 0, 196, 196.

Gráfico 13.- Área de cobertura por pérdidas de trayectoria editando cochabamba.scf



Exportar y superponer gráficos en Google earth

SPLAT! tiene la capacidad de generar gráficos de cobertura reemplazando la escala de grises del mapa por el color blanco. Este mapa con fondo blanco, aprovechando la capacidad de programas como Imagemagick y el comando convert, se puede transformar en transparencia para, de esta manera, sobreponer la cobertura en el programa gooogleearth. Así se puede explotar la potencia de este programa para por ejemplo medir distancias o ver alturas y coordenadas de sitios de manera interactiva.

El procedimiento para superponer las áreas de cobertura sobre *Google earth* es el que sigue:

1. Ejecutar el comando SPLAT! para el área de cobertura con la opción `-ngs` para generar blanco en lugar de escala de grises en el archivo de salida `.ppm` y `-kml` para generar el archivo `xml` para georeferenciar la imagen en el programa *Google earth*.
2. Convertir el blanco del archivo `.ppm` en transparencia **`.png`**.
3. Editar el archivo `.kml` de *googleearth* de tal manera que apunte al archivo de transparencia **`.png`**.
4. Abrir el archivo **`.kml`** desde *Google earth*.

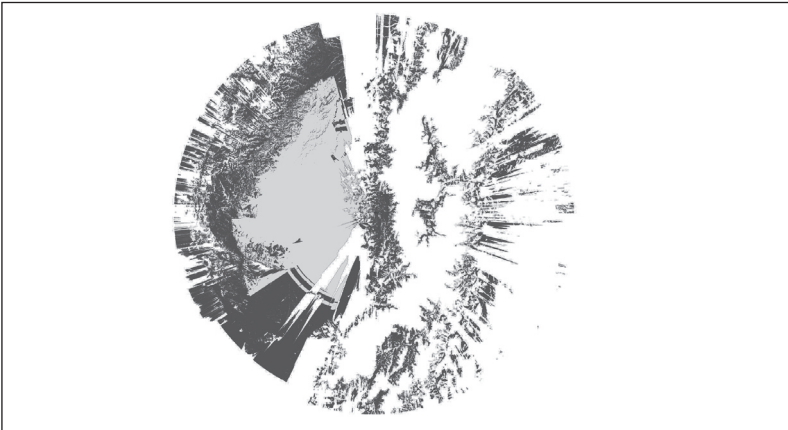
En nuestro ejemplo, para el sitio `cochabamba.qth` la instrucción que genere la cobertura sobre blanco y el archivo **`.kml`** sería (1):

`splat -t cochabamba.qth -oldtitm -L 10 -metric -ngs -kml -o itwmo-cocha-kml.ppm`; en este caso, el archivo de salida será **`itwmo-cocha-kml.ppm`**, con una resolución de 7200 x 6000 píxeles y de tamaño 123.6 Mb, que se muestra en el gráfico 14.

Para convertir el blanco en transparencia `.png` y reducir su resolución a 900x750 para sobreponerla en *Google earth*, se utiliza el comando de consola `“convert”`. En este caso, ejecutamos la siguiente instrucción (2):

`convert -geometry 900x750 -transparent “#FFFFFF” itwmo-cocha-kml.ppm itwmo-cocha-kml.png`; esto generará un nuevo archivo llamado **`itwmo-cocha-kml.png`**.

Debido a que el archivo `.kml` generado, en nuestro caso `itwmo-cocha-kml.kml` apunta al archivo `itwmo-cocha-kml.ppm`, se lo debe editar para que apunte a `itwmo-cocha-kml.png`.

Gráfico 14.- Cobertura de Cochabamba sobre blanco

El cuadro 21 muestra el contenido parcial del archivo .kml y la línea a ser editada está resaltada en negrilla. Se debe reemplazar el nombre itwmo-cocha-kml.ppm por itwmo-cocha-kml.png (3) o de acuerdo al archivo que el usuario haya generado como transparencia, en este caso la línea editada quedaría:

**<Icon><href>/home/splat/itwmo-cocha-kml.png</href>
</Icon>**

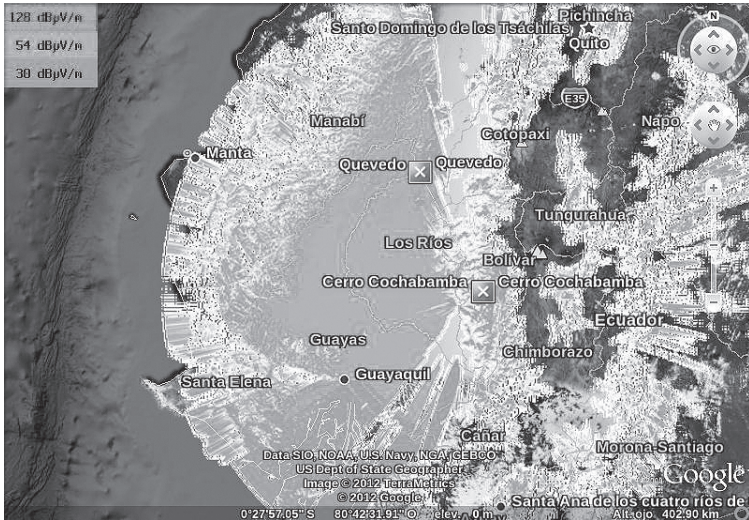
Cuadro 21.- Archivo parcial itwmo-cocha-kml.kml

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<kml xmlns="http://earth.google.com/kml/2.1">
<!-- Generated by SPLAT! Version 1.4.0 -->
<Folder> <name>SPLAT!</name>
<description>Cerro Cochabamba Transmitter Contours</description>
<GroundOverlay>
<name>SPLAT! Signal Strength Contours</name>
<description>SPLAT! Coverage</description>
<Icon><href>/home/splat/itwmo-cocha-kml.ppm</href> </Icon>
<LatLonBox> <north>0.99917</north>
<south>-4.00000</south>
<east>-76.00083</east>
<west>-82.00000</west>
<rotation>0.0</rotation>
```

Y finalmente se abre el archivo **.kml** desde el programa *Google earth*, en este caso */itwmo-cocha-kml.kml*.

La figura muestra la cobertura sobrepuesta como transparencia en *Google earth*.

Gráfico 15.- Sobreposición de cobertura en *Google earth*



Superponer coberturas sobre mapas digitales en *Google earth*

Al igual que la cobertura generada por SPLAT! se puede, en *Google earth*, siguiendo el mismo principio, superponer mapas digitales y sobre esos mapas, superponer las coberturas.

En el CD que acompaña este texto, el usuario encontrará una carpeta llamada Ecuador-GE, que contiene un archivo *ecuador.kml* y el mapa del Ecuador elaborado por la comunidad de *Open Street Map* y descargado desde su página web.

Para georeferenciar el mapa de Ecuador, guardando la resolución del mismo en *Google earth*, fue necesario cortarlo en pedazos de un grado por un grado y georeferenciar cada pedazo del mapa en el archivo ecuador.kml.

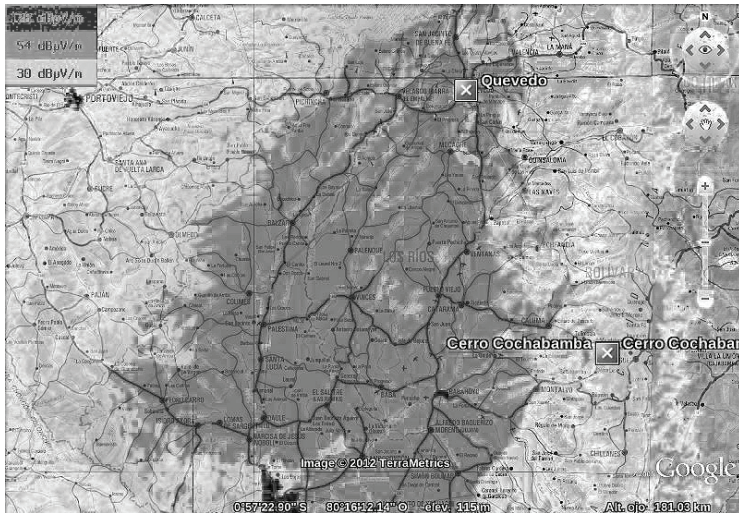
En el cuadro 22 se muestra el contenido parcial del archivo que corresponde a la georeferencia del área comprendida entre 1° sur y 2° sur y entre 81° y 82° este.

Cuadro 22.- Archivo parcial ecuador.kml

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<kml xmlns="http://earth.google.com/kml/2.1">
<!-- Basado en archivos generados por SPLAT! Version 1.4.0 -->
<!-- Elaborado por Charles Escobar -->
<Folder> <name>Mapa Ecuador</name>
<description>Mapa Georeferenciado del Ecuador</description>
<!-- Entre 81° y 82° west-->
<GroundOverlay> <name>0102s8182w</name>
<description>0102s8182w</description>
<Icon> <href>0102s8182w.png</href> </Icon>
<LatLonAltBox> <north>-1.00000</north>
<south>-2.00000</south>
<east>-81.00000</east>
<west>-82.00000</west>
<rotation>0.0</rotation>
</LatLonAltBox>
</GroundOverlay>
```

Una vez que se ha georeferenciado el mapa digital en *Google earth*, se abre la cobertura y se puede tener una superposición como se muestra en el gráfico a continuación:

Gráfico 16.- Superposición de cobertura sobre un mapa digital en *Google earth*



Uso de antenas directivas

SPLAT! permite calcular predicciones de cobertura usando antenas directivas, con sus respectivos patrones de radiación horizontal y vertical.

Los patrones de voltaje de campo normalizado para planos verticales y horizontales de antenas transmisoras se importan automáticamente dentro de SPLAT!, cuando se realizan los análisis de pérdidas por trayectoria, intensidad de campo, intensidad de campo o nivel de potencia recibida.

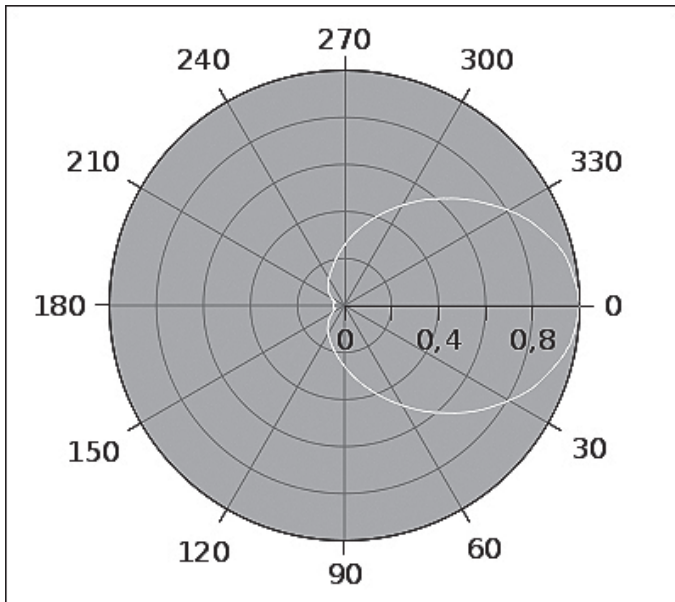
A diferencia de otros cálculos, no existe una opción para leer los archivos que contienen los datos de los patrones de antena, mas bien, estos se leen de un par de archivos que tienen el mismo nombre base que el transmisor y los archivos LRP; pero con extensiones .az y .el, para los patrones de azimut y elevación respectivamente.

Archivo .az

Las especificaciones acerca de la rotación del patrón de radiación y el voltaje de campo normalizado se declaran en el archivo **.az**

La primera línea de el archivo **.az** especifica la cantidad de rotación del patrón de azimut (medido en grados desde el norte verdadero en sentido horario) a ser aplicado por SPLAT! a los datos contenidos en el archivo .az. Esto es seguido por el correspondiente azimut (0 a 360 grados) y su patrón asociado de campo normalizado (0.000 a 1.000) separado por un espacio en blanco.

Gráfico 17.- Patrón horizontal de la antena Kathrein-scala 738051



Por ejemplo, para la antena Kathrein-scala 738051⁴⁵ cuyo patrón se muestra en el gráfico 17, y asumiendo como sitio de transmisión cochabamba.qth y un azimut de 270°, el archivo .az debería llamarse cochabamba.az y su contenido se muestra en el cuadro 23.

Archivo .el⁴⁶ .

Las especificaciones acerca de la inclinación mecánica y dirección de la inclinación se declaran dentro del archivo .el

La estructura del archivo del patrón de elevación SPLAT! es ligeramente diferente.

La primera línea del archivo .el especifica la cantidad de elevación mecánica aplicada a la antena. Una elevación hacia abajo (bajo el horizonte) es expresada como un ángulo positivo, mientras que hacia arriba (sobre el horizonte) es expresada como un ángulo negativo. Estos datos son seguidos por la dirección del azimut de la elevación, separado por un espacio en blanco. El remanente del archivo consiste en los valores de los ángulos de elevación y su correspondiente patrón de radiación de voltaje normalizado (0.000 a 1.000) separados por un espacio en blanco. Los ángulos de elevación deben ser especificados sobre un rango de -10 a +90 grados.

Igual que la notación en la elevación mecánica, ángulos de elevación negativa se usan para representar elevaciones sobre el horizonte, mientras que los ángulos positivos representan elevaciones bajo el horizonte.

Por ejemplo las primeras pocas líneas de un archivo patrón de elevación se muestra en el cuadro 24.

45 Patrón tomado de <http://www.kathrein-scala.com/library/patterns/> el lugar requiere registrar un usuario.

46 Manual de SPLAT!.

Cuadro 23.- Archivo cochabamba.az

270

0 1

1 0.997

2 0.995

3 0.992

4 0.991

5 0.989

6 0.986

7 0.983

8 0.979

9 0.977

10 0.973

La siguiente declaración de voltaje normalizado deber realizarse un grado por

línea, aquí se ha agrupado para que no se extienda en el texto

11 0.965 12 0.961

13 0.954 14 0.947 15 0.939 16 0.931 17 0.925 18 0.916 19 0.909 20 0.901 21 0.894

22 0.887 23 0.879 24 0.871 25 0.861 26 0.851 27 0.841 28 0.83 29 0.819 30 0.808

31 0.798 32 0.787 33 0.776 34 0.766 35 0.756 36 0.746 37 0.736 38 0.725 39 0.714 40

0.703 41 0.692 42 0.681 43 0.669 44 0.658 45 0.646 46 0.635 47 0.624 48 0.614 49

0.603 50 0.594 51 0.583 52 0.573 53 0.563 54 0.552 55 0.543 56 0.531 57 0.521 58

0.51 59 0.5 60 0.49 61 0.48 62 0.471 63 0.462 64 0.453 65 0.444 66 0.435 67 0.425

68 0.417 69 0.409 70 0.4 71 0.392 72 0.383 73 0.375 74 0.367 75 0.36 76 0.352 77

0.345 78 0.337 79 0.33 80 0.323 81 0.316 82 0.31 83 0.303 84 0.296 85 0.289 86

0.282 87 0.276 88 0.27 89 0.265 90 0.259 91 0.253 92 0.248 93 0.242 94 0.237

95 0.232 96 0.227 97 0.222 98 0.217 99 0.212 100 0.208 101 0.203 102 0.199 103

...

271 0.263 272 0.269 273 0.276 274 0.283 275 0.289 276 0.296 277 0.304 278 0.311

279 0.317 280 0.324 281 0.331 282 0.339 283 0.347 284 0.354 285 0.363 286 0.37

287 0.379 288 0.387 289 0.395 290 0.403 291 0.412 292 0.42 293 0.429 294 0.437

295 0.446 296 0.454 297 0.464 298 0.474 299 0.483 300 0.492 301 0.502 302 0.511

303 0.521 304 0.531 305 0.542 306 0.552 307 0.562 308 0.573 309 0.581 310 0.592

311 0.601 312 0.612 313 0.622 314 0.632 315 0.644 316 0.655 317 0.666 318 0.676

319 0.687 320 0.697 321 0.71 322 0.719 323 0.729 324 0.74 325 0.751 326 0.762

327 0.774 328 0.784 329 0.797 330 0.808 331 0.819 332 0.831 333 0.841 334 0.85

335 0.862 336 0.871 337 0.879 338 0.888 339 0.896 340 0.906 341 0.913 342 0.923

343 0.931 344 0.942 345 0.947 346 0.955 347 0.961 348 0.966 349 0.969 350 0.974

351 0.976 352 0.979

Hasta aquí lo agrupado

353 0.982

354 0.986

355 0.989

356 0.992

357 0.994

358 0.995

359 0.998

Cuadro 24.- Archivo de elevación .el 1.1 130.0

```

-1.1 130.0
-10.0 0.172
-9.5 0.109
-9.0 0.115
-8.5 0.155
-8.0 0.157
-7.5 0.104
-7.0 0.029
-6.5 0.109
-6.0 0.185

```

En resumen, para usar esta opción se deben generar los archivos en texto plano que contengan los patrones de voltaje de campo normalizados para los planos horizontales y verticales de la antena. Estos archivos deben tener el mismo nombre base que el transmisor y los archivos LRP, pero con extensiones .az y .el, para los patrones de azimuth⁴⁷ y elevación⁴⁸.

Así por ejemplo para un sitio llamado cerro-azul.qth, los archivos para los patrones de radiación horizontal y vertical deben llamarse:

- cerro-azul.az para el patrón de radiación horizontal y
- cerro-azul.el para el patrón de radiación vertical.

47 Patrón de radiación horizontal de la antena.

48 Patrón de radiación vertical de la antena.

Capítulo III

Interfaz gráfica SPLAT-GUI

SPLAT! es una herramienta de telecomunicaciones que permite al ingeniero o técnico de telecomunicaciones realizar cálculos de radioenlaces o predicciones de áreas de coberturas desde la consola shell de GNU/Linux ®.

Aunque esta herramienta es muy poderosa y puede ser personalizada de acuerdo a las exigencias que el usuario y/o marco regulatorio de cada país, no todos los usuarios están familiarizados con la consola de trabajo de GNU/Linux ®.

SPLAT-GUI busca facilitar al usuario el uso de SPLAT!, proporcionándole al ingeniero o técnico de telecomunicaciones un entorno amigable en el que pueda introducir las variables y parámetros necesarios para realizar los cálculos de telecomunicaciones sin tener que preocuparse de la interac-

ción con la consola de GNU/Linux⁴⁹. SPLAT! es una poderosa herramienta para el análisis de terreno y propagación RF que cubre el espectro radioeléctrico entre 20 Megahertz y 20 Gigahertz. SPLAT! es *Software* Libre y está diseñado para operar en escritorios Unix y basados en Linux.

La redistribución y/o modificación está permitida bajo los términos de la licencia pública general GNU según lo publicado por la Fundación de Software Libre, versión 2. La adopción del código fuente de SPLAT! en aplicaciones propietarias o de fuente-cerrada es una violación de esta licencia, y está estrictamente prohibida.

SPLAT! es distribuido con la esperanza de que sea útil, pero sin ninguna garantía, aún la garantía implícita de comercialización o de la aplicación para un propósito particular. Vea la licencia GNU para más detalles.⁵⁰

El programa SPLAT! tiene Copyright © 1997-2011 y ha sido desarrollada por John A. Magliacane, KD2BD. Su código fuente y documentación está disponible en su sitio web:

<http://www.qsl.net/kd2bd/splat.html>.

SPLAT-GUI

Introducción

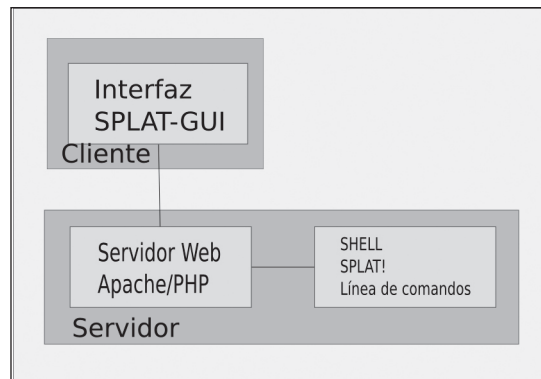
SPLAT-GUI es una interfaz gráfica para la herramienta SPLAT!. Esta interfaz no realiza ningún cálculo y solamente busca facilitar el ingreso de datos por parte del usuario

49 Sin embargo el lector que quiera profundizar el uso de SPLAT!, debería familiarizarse con el shell de GNU/Linux y el manejo de esta herramienta y que se discute en este texto a partir del capítulo 1.

50 Manual en español de SPLAT!. Página 1.
(<http://www.qsl.net/kd2bd/splat-spanish.pdf>) (consulta: enero de 2012).

para que el programa SPLAT! realice los cálculos y/o predicción de coberturas de telecomunicaciones y, luego, presente al usuario los resultados y gráficos. SPLAT-GUI. Está desarrollada con PHP, aprovechando su capacidad de ejecutar instrucciones de línea de comando detrás del código PHP. Esto la convierte en una aplicación por capas, que puede ser utilizada de manera distribuida, incluso con clientes desde otro sistema operativo, como se muestra en la gráfico 18.

Gráfico 18.- SPLAT-GUI



En este gráfico, se puede deducir que el cliente o usuario puede ejecutar la aplicación ya sea en la misma máquina del servidor o en cualquier otra que esté en la red, esto tiene una gran potencialidad, considerando que el servidor puede estar disponible en Internet y el cliente en cualquier parte del mundo.

Para que el usuario pueda usar la interfaz gráfica SPLAT-GUI, es recomendable que se instale en un computador con características aceptables de *hardware* como Intel® Core 2 Dúo, 4GB en RAM o similares. De hecho, se ha probado en

un computador de bajo desempeño como el Notebook Asus EEE PC 1000H con procesador Intel® atom N270 y 2 GB en RAM, con resultados muy satisfactorios para el cálculo de radioenlaces, pero para la predicción de áreas de cobertura con un cerro de 2200 metros sobre el nivel del mar, con vista al litoral ecuatoriano, ha requerido poco más de una hora para mostrar los resultados.

Para acceder a la interfaz, el cliente requiere tener instalado el navegador web Mozilla Firefox® y tener acceso al servidor, en el cual instale la aplicación.

También puede acceder a la interfaz gráfica arrancando desde el CD que acompaña a este texto sin necesidad de instalarlo, la respuesta será mas lenta y el tiempo de respuesta de los resultados de cálculos de radioenlace serán aceptables, pero si el usuario quiere realizar cálculos de cobertura, es recomendable que instale la aplicación o descargue la iso desde Internet⁵¹ y la queme y ejecute desde una memoria USB.

Usando el CD que acompaña este texto

El CD que acompaña a este texto es una distribución personalizada de Ubuntu®, a la cual se le ha agregado:

1. El programa SPLAT!, versión 1.4.x .
2. La interfaz gráfica para splat SPLAT-GUI.⁵²
3. El Mapa OSM del Ecuador exportado desde *Open Street Map*⁵³ en cuadrados de un grado x un grado.
4. Archivo KML para *Google earth* y html del mapa OSM de Ecuador.

⁵¹ El servidor Apache es requisito para ello.

⁵² Disponible en: <http://charlesescobar.com/splat/iso>.

⁵³ Disponible en: <http://openstreetmap.org/>.

El CD puede ser ejecutado sin necesidad de ser instalado en el computador, para ello es necesario configurar el arranque desde el CD⁵⁴ y cuando se inicia el proceso de arranque del sistema debe seleccionar a opción “probar Xubuntu”.

Una vez que arranque el sistema, para acceder a la interfaz desde un computador en red, el usuario debe apuntar su navegador web Firefox® a la dirección IP en la que haya instalado la aplicación SPLAT! y la interfaz gráfica SPLAT-GUI.

En el caso de nuestro CD, el usuario debe apuntar su navegador a:

`http://localhost/splat`

Más adelante se explica en detalle el uso de la interfaz gráfica SPLAT-GUI en sistemas operativos derivados de Debian®.

Si el usuario va a realizar pocos cálculos de radioenlaces puede usar el CD en el modo de prueba sin instalarlo, sin embargo, siempre será recomendable que la instale en su propio computador. Con SPLAT-GUI se pueden realizar cálculos de radioenlace, cálculo de línea de vista, cálculos de predicción de cobertura y generar gráficos del perfil del terreno y atenuación de señal cada 45° para un sitio dado. La figura 18 muestra la página principal de la interfaz, en la cual se muestra una sección para el cálculo de radioenlaces, una sección para el cálculo de área de cobertura y una sección para resetear la aplicación, en caso de que algún proceso de cálculo haya sido interrumpido y las banderas de uso exclusivo de la interfaz se hayan quedado encendidas (password: Splat8002).

54 Precaución: si instala el CD, tenga cuidado de no destruir la información ya que está introduciendo un sistema operativo y podría formatear el disco duro.

Gráfico 19.- Interfaz principal SPLAT-GUI



Ingreso de datos o parámetros a SPLAT-GUI

En cada sección de la interfaz, puede acceder a la ayuda para conocer más del tipo de datos que debe ingresar haciendo click sobre el ícono:



Esto muestra una breve descripción de los datos o parámetros a introducir.

Cálculo de Radioenlaces Punto a Punto

Luego de seleccionar el botón “Cálculo de Radioenlaces” de la figura 18, al usuario se le presentara la ventana de la figura 19, en la cual debe ingresar la información necesaria para los cálculos, como se describe a continuación.

Ingreso de Coordenadas

Para el cálculo de radioenlaces, el usuario debe ingresar en los casilleros correspondientes las coordenadas del sitio o de los sitios de transmisión (hasta 4) y del sitio de recepción en la ventana que se muestra en el gráfico 19.

Para establecer si las latitudes del o los sitios de transmisión y de recepción son norte o sur, de debe seleccionar el respectivo *checkbox* y si se quiere ingresar mas de un sitio de transmisión se deben habilitar los *checkbox* de los “Nombre del sitio” del gráfico 20 e introducir los datos que correspondan.

Gráfico 20.- Ventana de ingreso de coordenadas para radioenlaces

ENLACE PUNTO A PUNTO ?	
Coordenadas transmisor(es) ? Nombre del sitio: Transmisor LATITUD: 1 ° 58 ' 38 " SUR ☒ LONGITUD: 79 ° 32 ' 59 " WEST Altura antena sobre el terreno (m) : 20 ☐ Nombre del sitio 2: Transmisor 2 LATITUD: 1 ° 28 ' 38 " SUR ☒ LONGITUD: 79 ° 32 ' 59 " WEST Altura antena sobre el terreno (m) : 20 ☐ Nombre del sitio 3: Transmisor 3 LATITUD: 1 ° 18 ' 38 " SUR ☒ LONGITUD: 79 ° 32 ' 59 " WEST Altura antena sobre el terreno (m) : 20 ☐ Nombre del sitio 4: Transmisor 4 LATITUD: 1 ° 8 ' 38 " SUR ☒ LONGITUD: 79 ° 32 ' 59 " WEST Altura antena sobre el terreno (m) : 20	Coordenadas del receptor Nombre del sitio: Receptor LATITUD: 1 ° 41 ' 45 " SUR ☒ LONGITUD: 79 ° 6 ' 44 " WEST Altura antena sobre el terreno (m) : 20

La altura de la antena sobre el terreno es la altura del centro de radiación sobre el lugar de transmisión y no sobre el nivel del mar, ya que para determinar la altura del sitio sobre el nivel del mar, SPLAT utiliza mapas digitalizados SRTM3. El usuario no necesita ingresar estos datos, ya que serán tomados de acuerdo a las coordenadas dadas de los mapas digitalizados.

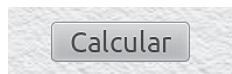
Parámetros ITM o L-R

A continuación se deberán seleccionar las opciones de lo que desea calcular y cuales serán los parámetros ITM⁵⁵ o *Longley-Rice* con que se realizarán esos cálculos; para ello, debe modificar de acuerdo a sus necesidades los campos que se muestran en la gráfico 21.

Gráfico 21.- Ingreso de parámetros ITM y opciones de cálculo

Parámetros modelo ITM o Longley-Rice ?	Opciones ?
15.00 Earth Dielectric Constant (Relative permittivity)	☐ Gráfico del Perfil del terreno (-p)
0.005 Earth Conductivity (Siemens per meter)	☒ Gráfico del ángulo de elevación (-e)
301.0 Atmospheric Bending Constant (N-Units)	☐ Gráfico de Altura del terreno referenciado a LDV (-h)
300.0 Frequency in MHz (20 MHz to 20 GHz)	☐ Gráfico de Altura del terreno Normalizado (-H)
☐ Radio Climate	☒ Zona de Fresnel (-f) -> Ingresar la frecuencia en los parámetros ITM o Longley Rice.
0 Polarization (0 = Horizontal, 1 = Vertical)	☐ Gráfico de pérdidas por trayectoria Longley-Rice (-L)
0.50 Fraction of situations	☒ Gráfico mapa.ppm entre TX y RX (-o)
0.50 Fraction of time	☒ Incluir ciudades/sitios (-s) y límites cartográficos (-b) en el mapa
10 Potencia del transmisor (Watts)	☒ Generar un archivo Google Earth .kml (-kml)
12 Ganancia antena TX [dBd]	☐ Factor multiplicador del radio de la tierra (-m)
12 Ganancia antena RX [dBd]	☒ Usar Sistema Métrico
12 Pérdidas en conectores y línea de transmisión [dB]	
-77 Umbral de recepción [dBm]	

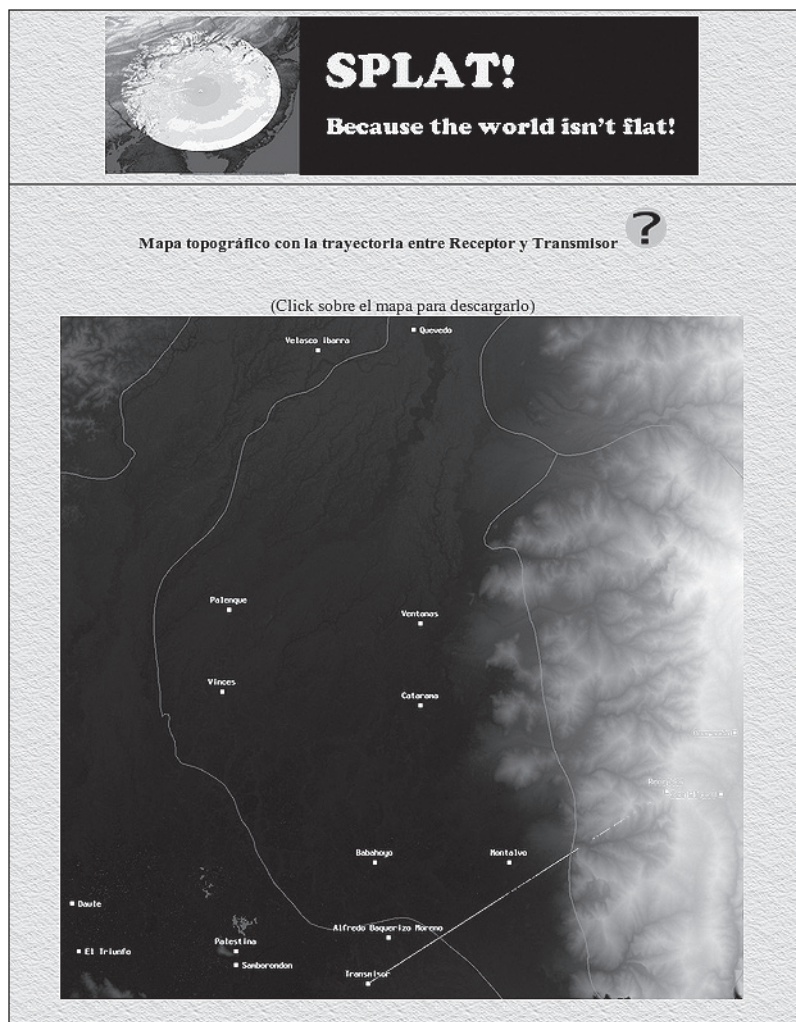
Finalmente cuando se hayan seleccionado las opciones y parámetros debe hacer click en el botón:



55 La versión 1.4 SPLAT! por defecto utiliza el modelo ITM (*Irregular Terrain Model*) en lugar del modelo Longley-Rice. Si el usuario quiere usar el modelo *Longley-Rice*, deberá alterar el código PHP con esa opción.

Los resultados y gráficos, de acuerdo a las opciones que se hayan seleccionada en el gráfico 21, se mostrarán a continuación.

Gráfico 22.- Gráfico de línea de vista



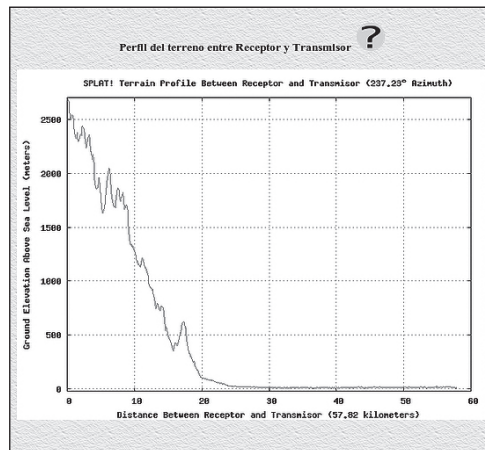
Cada uno de los gráficos mostrados pueden ser descargados por el usuario a su computador personal.

El primer gráfico, si se ha seleccionado la opción: **gráfico mapa.ppm entre TX y RX (-o)**, muestra en gráfico 22, un mapa en escala de grises con una línea verde trazada a lo largo de los puntos donde existe línea de vista desde el transmisor.

Las siguientes ilustraciones se mostrarán de acuerdo a si fueron o no seleccionadas:

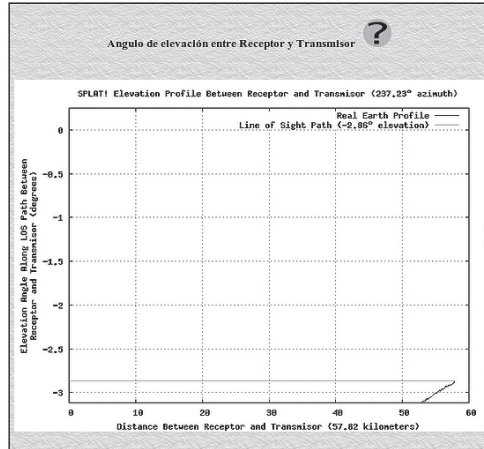
Para la opción gráfico del perfil del terreno (-p).

Gráfico 23.- Perfil del terreno entre el receptor y el transmisor



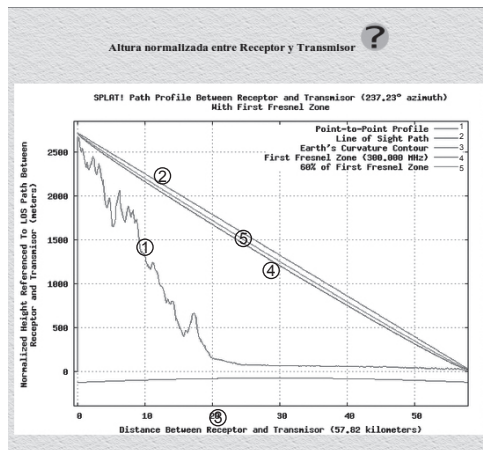
Para la opción gráfico del ángulo de elevación (-e).

Gráfico 24.- Ángulo de elevación entre receptor y transmisor



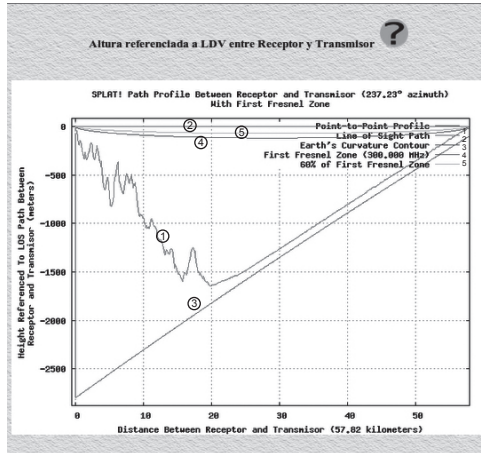
Para la opción gráfico de altura del terreno normalizado (-H).

Gráfico 25.- Altura referenciada a Linea de vista entre Rx y Tx



Para la opción gráfico de altura del terreno referenciado a LDV (-h).

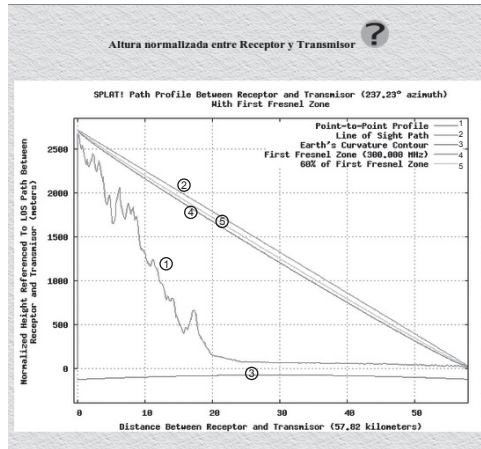
Gráfico 26.- Altura normalizada entre receptor y transmisor



En la parte inferior de la página web se muestran los botones que permiten descargar los archivos con los datos de los resultados, incluidos los kml para *Google earth*, esto se ilustra en el gráfico 30.

Para la opción Zona de Fresnel (-f) --> Ingresar la frecuencia en los parámetros ITM o L-R.

Gráfico 27.- Zona de Fresnel entre receptor y transmisor



Para la opción gráfico de pérdidas por trayectoria *Longley-Rice* (-l)

Gráfico 28.- Pérdidas por trayectoria entre receptor y transmisor

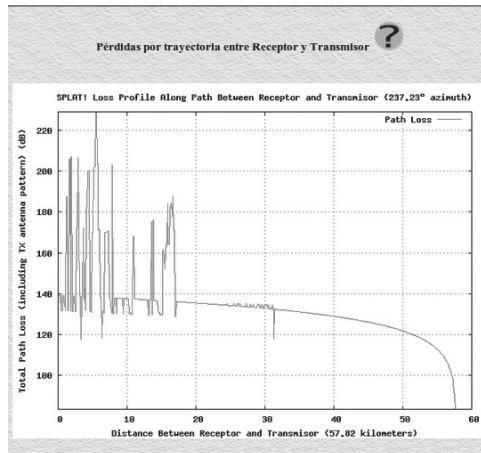


Gráfico 29.- Parámetros usados para los cálculos

Parámetros Longley-Rice usados para los cálculos ?

splat.lrp
15.000 ; Earth Dielectric Constant (Relative permittivity)
0.005 ; Earth Conductivity (Siemens per meter)
301.000 ; Atmospheric Bending Constant (N-Units)
300.000 ; Frequency in MHz (20 MHz to 20 GHz)
5 ; Radio Climate
0 ; Polarization (0 = Horizontal, 1 = Vertical)
0.50 ; Fraction of situations
0.50 ; Fraction of time
50 ; Transmitter Effective Radiated Power in Watts (optional)

VOLVER

Gráfico 30.- Botones de descarga de resultados

Archivo kml para Google Earth ?

Descargar archivo 

Archivos de resultados ?

Descargar archivo 

Finalmente, en el gráfico 29 se muestran los parámetros que fueron utilizados para realizar estos cálculos, de tal manera que el usuario pueda confirmar que sus cálculos se ajustan a sus requerimientos.

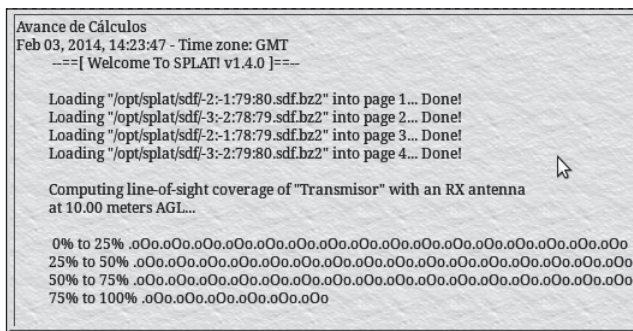
El botón volver le llevará, nuevamente, a la página principal.

Cálculo de áreas de cobertura

Ventana de avance de cálculos

Desde la versión 1.3.1 de SPLAT-GUI, cuando abra la ventana de ingreso de datos para el cálculo de área de cobertura de línea de vista o de pérdidas, se mostrará la ventana del gráfico 31 que indicará el avance del programa SPLAT!. Inicialmente esta ventana se mostrará solo con el encabezado y luego, una vez que el usuario presione el botón “Calcular LDV” o “Calcular” para predicción de cobertura, se irá actualizando a medida que se desarrollen los cálculos, de manera similar al del gráfico 31.

Gáfico 31. Ventana de avance de cálculos



Área de cobertura de línea de vista

Luego de seleccionar el botón “Cálculo de Cobertura LDV”, de la interfaz principal, mostrada en el gráfico 19, se mostrará la ventana del gráfico 32, en el cual se debe ingresar la información necesaria para generar el gráfico de cobertura.

Para calcular el área de cobertura de línea de vista desde un sitio de transmisión, en la sección “Coordenadas transmisor(es)” se debe ingresar las coordenadas del transmisor o transmisores.

En la sección “Área de cobertura LDV” se pueden ingresar las siguientes opciones y/o parámetros:

- Limitar el rango por defecto Km, Millas(-R) permite limitar el rango de análisis de acuerdo con la necesidad del usuario, con esto, se puede disminuir el tiempo de cálculo, pero puede mostrar menos información del área de línea de vista real alrededor del transmisor.
- Generar archivo Xastir de georeferencia .geo, es una opción que generará un archivo de texto plano que contiene información georeferenciada de la imagen obtenida que puede ser abierta en xastir.
- Generar Blancos de mapa de grises, con esta opción se reemplaza la escala de grises del mapa del área de cobertura de línea de vista por el color blanco, de tal manera que pueda ser convertido en transparencia con el comando convert, como se explica en la sección “Exportar y superponer gráficos en *Google earth*”.
- Altura de la antena receptora sobre el nivel del terreno Corresponde a la altura de la antena sobre el nivel del terreno en el lado del receptor que se tomará como referencia para determinar la cobertura de línea de vista, por defecto 10 m.

- Incluir ciudades/sitios (-s) y límites cartográficos (-b) en los mapas. La interfaz gráfica SPLAT-GUI, contiene los archivos .dat de sitios y límites políticos de Ecuador, de tal manera que si son seleccionados, estos se graficarán sobre los mapas de cobertura para otros países. El usuario puede construir sus propios archivos .dat como se describe en la sección “Archivos de entrada”.
- Factor multiplicador del radio de la tierra (-m) que permite determinar el índice para la curvatura de la tierra, por defecto, si no se selecciona esta opción es de 4/3.
- Usar Sistema Métrico trabaja con el sistema métrico en lugar del sistema inglés.
- Generar Archivo KML de transparencia para *Google earth*. Permite la creación de los archivos necesarios para superponer la transparencia de cobertura sobre *Google earth*. Es requisito seleccionar la opción de Blancos de mapa de grises.

Como ejemplo ilustrativo de línea de vista alrededor de un sitio de transmisión, se ha tomado como referencia la elevación Cerro Azul, que da servicio de telecomunicaciones a la provincia del Guayas con las coordenadas y opciones que se muestran en el gráfico 32.

El gráfico 33 muestra la imagen resultante del área de línea de vista desde el Cerro Azul ubicado en Guayas.

Se puede apreciar la escala de grises del terreno y en color más claro el área de línea de vista basado en una antena receptora localizada a 10.0 metros sobre el nivel del terreno. Adicionalmente, se pueden apreciar algunos sitios y límites políticos georeferenciados, debido a que estas opciones fueron seleccionadas.

Gráfico 32.- Ingreso de datos Cobertura de Línea de vista

PREDICCIÓN DE COBERTURA LÍNEA DE VISTA ?	
Coordenadas transmisor(es) ? Nombre del sitio: Cerro Azul LATITUD: 2 ° 10 ' 10.28 " SUR ✓ LONGITUD: 79 ° 57 ' 15.93 " WEST Altura antena sobre el terreno (m) : 20 ☐ Nombre del sitio 2: Transmisor 2 LATITUD: 1 ° 18 ' 30 " SUR ✓ LONGITUD: 79 ° 32 ' 59 " WEST Altura antena sobre el terreno (m) : 20 ☐ Nombre del sitio 3: Transmisor 3 LATITUD: 1 ° 8 ' 38 " SUR ✓ LONGITUD: 79 ° 45 ' 59 " WEST Altura antena sobre el terreno (m) : 20 ☐ Nombre del sitio 4: Transmisor 4 LATITUD: 1 ° 24 ' 38 " SUR ✓ LONGITUD: 79 ° 20 ' 59 " WEST Altura antena sobre el terreno (m) : 20	Area de cobertura LDV ? Gráfico del área de cobertura (-c) ☐ Limitar el rango por defecto 100 Km, Millas (-R) ☐ Generar archivo Xastir de georeferencia .geo Altura de la antena receptora sobre el nivel del terreno 10 ☒ Incluir ciudades/sitios (-s) y límites cartográficos (-b) en los mapas 1.3333 Factor multiplicador del radio de la tierra (-m) ☒ Usar Sistema Métrico ☒ Generar Blancos de mapa de grises (doble de tiempo) ☒ Generar Archivo KML de Transparencia para Googleearth Calcular LDV

En el ejemplo previo, también se seleccionó la opción “Generar Blancos de mapa de grises” y “Generar Archivo de Transparencia para *Google earth*” con lo que se consigue la imagen de línea de vista como transparencia para ser superpuesta sobre otros mapas digitales o en el programa *Google earth*, esta imagen se muestra en la Gráfico 34.

En la parte inferior del gráfico de transparencia de la cobertura de línea de vista, se encuentran los enlaces para descargar los archivos para superponer la transparencia en *Google earth*, como se muestra en el gráfico 35. Estos archivos deben ser descargados por el usuario en una misma carpeta y desde googleearth, se debe abrir el archivo

coveraget.kml

Gráfico 33.- Área de cobertura de línea de vista

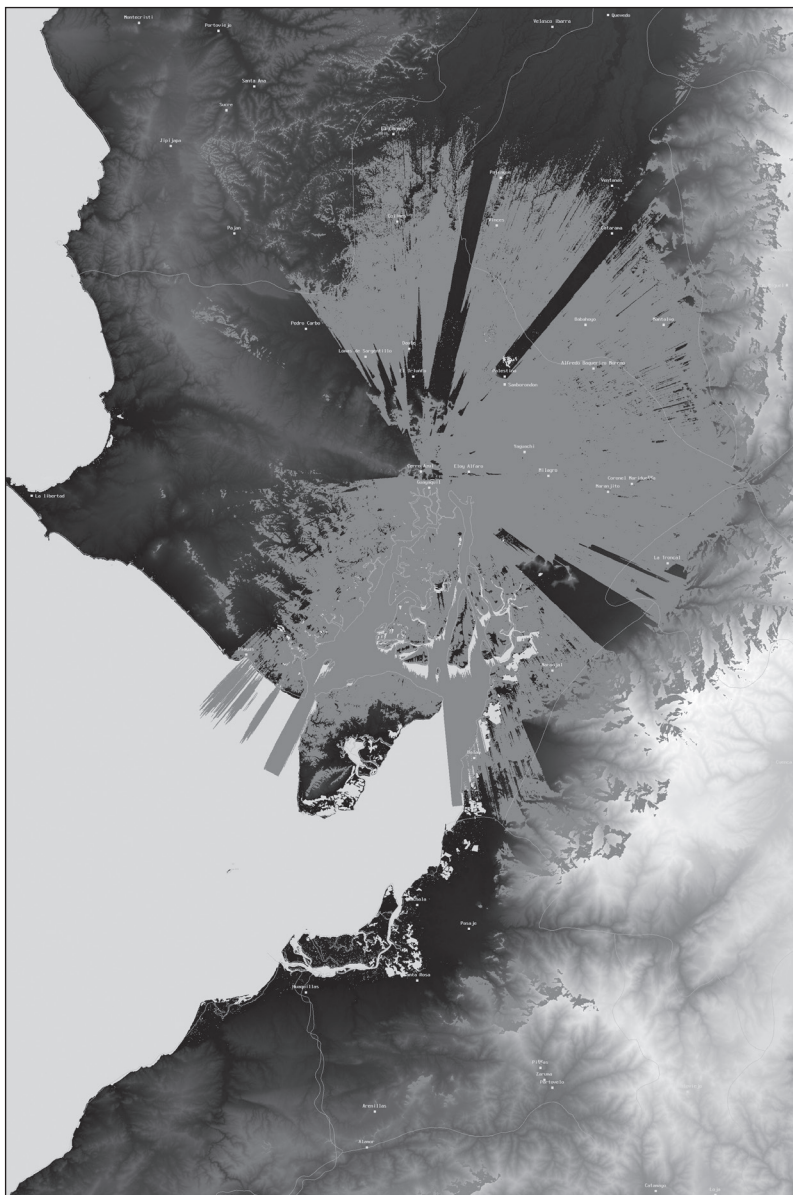
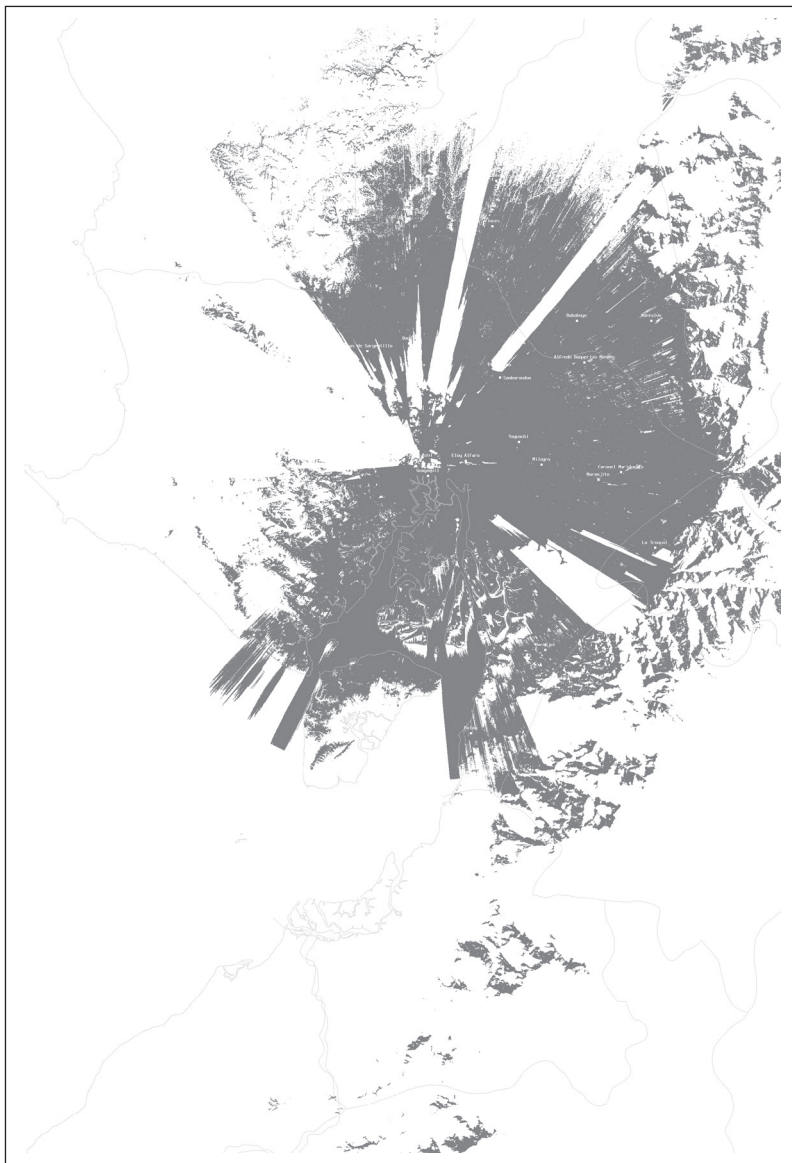


Gráfico 34.- Transparencia de área de cobertura de línea de vista

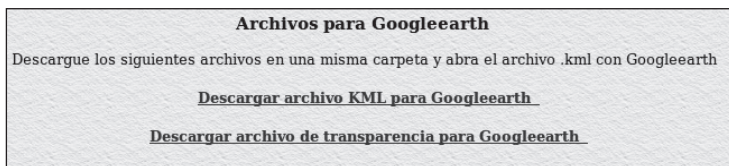


Para obtener un resultado similar al mostrado en el gráfico 34, el contenido del archivo `coveraget.kml` se muestra en el cuadro 25.

Cuadro 25.- Contenido del archivo `coveraget.kml`

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<kml xmlns="http://earth.google.com/kml/2.1">
  <Folder>
    <name>SPLAT!</name>
    <description>Line-of-Sight Contour</description>
    <GroundOverlay>
      <name>SPLAT! Line-of-Sight Contour</name>
      <description>SPLAT! Coverage</description>
      <Icon> <href>coveraget.png</href> </Icon>
      <LatLonBox> <north>-1.00083</north>
        <south>-4.00000</south>
        <east>-79.00083</east>
        <west>-81.00000</west>
        <rotation>0.0</rotation>
      </LatLonBox>
    </GroundOverlay>
    <Placemark>
      <name>Cerro Azul</name>
      <visibility>1</visibility>
      <Style>
        <IconStyle>
          <Icon>
            <href>root://icons/palette-5.png</href>
            <x>224</x>
            <y>224</y>
            <w>32</w>
            <h>32</h>
          </Icon>
        </IconStyle>
      </Style>
      <Point>
        <extrude>1</extrude>
        <altitudeMode>relativeToGround</altitudeMode>
        <coordinates>-79.954425,-2.169522,65.616798</coordinates>
      </Point>
    </Placemark>
  </Folder>
</kml>
```

Gráfico 35.- Archivos para *Google earth*



Interferencia de áreas de cobertura

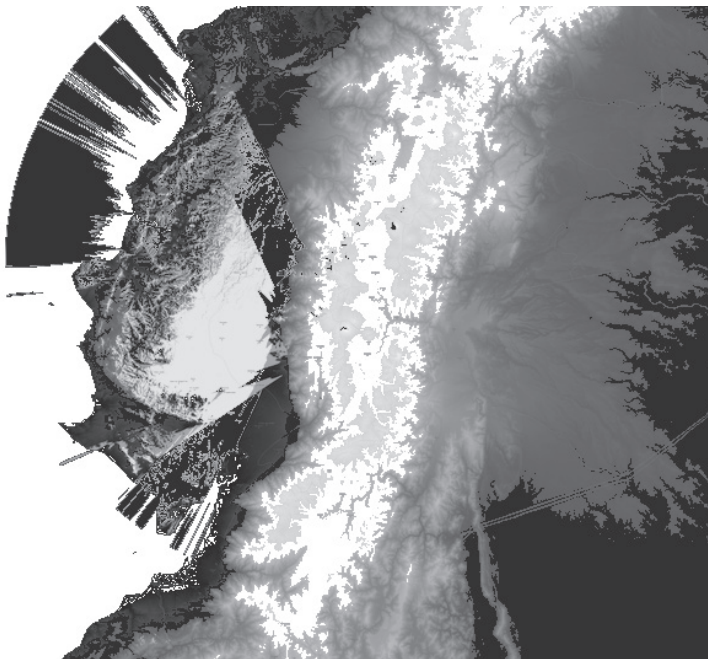
Para determinar interferencias entre sitios se puede presentar áreas de cobertura de línea de vista de hasta para cuatro sitios distintos de transmisión sobre un mapa topográfico común en el cual se mostraran con colores las áreas de cobertura individual de cada sitio y la intersección entre ellas.

El gráfico 36 muestra la imagen resultante del área de línea de vista de los sitios de transmisión; cerro Cochabamba en la provincia de Bolívar y cerro Apagua en la provincia de Cotopaxi. Los dos cerros dan servicio a la provincia de Los Ríos.

Se puede apreciar la escala de grises del terreno y el área de línea de vista de los dos sitios en distintos tonos de gris, basados en una antena receptora localizada a 10.0 metros sobre el nivel del terreno.

El lector, puede realizar el ejercicio directamente, con la herramienta para analizar los efectos de interferencia mutua.

Gráfico 36.- Interferencia de áreas de cobertura



Cálculo de Predicción de Cobertura

Luego de seleccionar el botón “Cálculo de Predicción de Cobertura” de la interfaz principal, mostrada en el gráfico 19, se mostrará la ventana de el gráfico 37, en la cual se debe ingresar la información necesaria para generar el gráfico de cobertura.

Para calcular el área de cobertura de pérdidas por trayectoria desde un sitio de transmisión, en la sección “Coordenadas transmisor(es)” se debe ingresar las coordenadas del transmisor o transmisores.

En la sección “Área de cobertura con pérdidas” se pueden ingresar las siguientes opciones y/o parámetros:

- Erp (watts) sobrescribe la potencia declarada en el archivo `splat.lrp` que se discutió en la sección “Gráfico del área de pérdidas por trayectoria”.
- Altura de la antena receptora sobre el nivel del terreno (m), define la altura sobre el nivel del terreno en la recepción, por defecto en 10 metros, de acuerdo a la recomendación de la UIT.
- Usar Azimut y patrón de radiación, con esta opción se puede seleccionar uno de los patrones de radiación de antena incluidos en la interfaz SPLAT-GUI que se ve con detalle mas adelante.
- Limitar el rango por defecto Km, Millas(-R), permite limitar el rango de análisis de acuerdo a la necesidad del usuario. Con esto, se puede disminuir el tiempo de cálculo, pero puede mostrar menos información del área de cobertura real alrededor del transmisor.
- Limitar el rango por defecto en dB (-db) permite limitar el rango de análisis estableciendo un umbral en dB hasta el cual se realizarían los cálculos, de acuerdo a la necesidad del usuario, con esto se puede disminuir el tiempo de cálculo, pero puede mostrar menos información del área de cobertura real alrededor del transmisor.
- Generar archivo Xastir de georeferencia .geo que generará un archivo de texto plano que contiene información georeferenciada de la imagen obtenida que puede ser abierta en xastir.
- Calcular Intensidades de Campo, que calcula el área de pérdidas alrededor de un sitio de transmisión, asociando un color a un rango de intensidad de campo. El usuario puede seleccionar el color y la intensidad asociada a él.

- Incluir ciudades/sitios (-s) y límites cartográficos (-b) en los mapas. La interfaz gráfica SPLAT-GUI, contiene los archivos .dat de sitios y límites políticos del Ecuador, de tal manera que si son seleccionados, estos se graficarán sobre los mapas de cobertura. para otros países, el usuario puede construir sus propios archivos .dat como se describe en la sección “Archivos de entrada”.
- Factor multiplicador del radio de la tierra (-m), permite determinar el índice para la curvatura de la tierra, por defecto, si no se selecciona esta opción es de 4/3.
- Usar Sistema Métrico Trabaja con el sistema métrico en lugar del sistema Inglés.
- Graficar Transparencia de la Cobertura (el doble de tiempo), con esta opción se reemplaza la escala de grises del mapa del área de cobertura de línea de vista por el color blanco; de tal manera que pueda ser convertido en transparencia con el comando convert, como se explica en la sección “Exportar y superponer gráficos en *Google earth*.”
- Generar Archivo KML de Transparencia para *Google earth* Permite la creación de los archivos necesarios para superponer la transparencia de cobertura sobre *Google earth*. Es requisito seleccionar la opción de transparencia para *Google earth*.

Como ejemplo ilustrativo de predicción de cobertura alrededor de un sitio de transmisión, se ha tomado como referencia la elevación Cerro Azul, que da servicio de telecomunicaciones a la provincia del Guayas.

Gráfico 37.- Predicción de Cobertura

PREDICCIÓN DE COBERTURA ?

Coordenadas transmisor(es) ?

Nombre del sitio: Cerro Azul

LATITUD: 2 9 10 10.28 SUR ☒

LONGITUD: 79 6 57 15.93 WEST

Altura antena sobre el terreno (m): 20

☐ Nombre del sitio 2: Transmisor 2

LATITUD: 1 9 18 30 SUR ☒

LONGITUD: 79 6 12 59 WEST

Altura antena sobre el terreno (m): 20

☐ Nombre del sitio 3: Transmisor 3

LATITUD: 1 9 8 38 SUR ☒

LONGITUD: 79 6 45 59 WEST

Altura antena sobre el terreno (m): 20

☐ Nombre del sitio 4: Transmisor 4

LATITUD: 1 9 24 38 SUR ☒

LONGITUD: 79 6 20 59 WEST

Altura antena sobre el terreno (m): 20

Area de cobertura con pérdidas ?

Gráfico de las pérdidas por trayectoria (-L)

ERP (watts) 1000 ☒ Sobrescribir el descrito en splat!

Altura de la antena receptora sobre el nivel del terreno 10 metros

☐ Usar Azimut y patrón de radiación:

Azimut: 270 0

GAIN: 0

☐ Limitar el rango por defecto 100 Km, Millas (-R)

☐ Limitar el rango por defecto en dB 140 dB (-db)

☐ Generar archivo Xastir de georeferencia .geo

☒ Calcular Intensidades de Campo:

Intensidad de Campo Color

☒ 128 dBuV/m

☒ 118 dBuV/m

☒ 108 dBuV/m

☒ 98 dBuV/m

☐ 88 dBuV/m

☒ 54 dBuV/m

☐ 68 dBuV/m

Ingreso de coordenadas

Para el cálculo de predicción de cobertura, el usuario debe ingresar, en los casilleros correspondientes del gráfico 37 las coordenadas del sitio o de los sitios de transmisión. Para permitir ingresar mas de un sitio de transmisión se deben habilitar los checkbox respectivos e ingresar los datos que correspondan. Si elige mas de un sitio de transmisión, la aplicación se demorará en mostrar los resultados, n veces por n sitios de transmisión seleccionados. Así que si usa esta opción tenga paciencia al esperar los resultados.

Parámetros ITM o L-R

A continuación el usuario deberá seleccionar las opciones de lo que desea calcular y cuales serán los parámetros ITM o Longley-Rice con que se realizarán esos cálculos.

Gráfico 38.- Parámetros para el modelo ITM o L-R para predicción de cobertura

Parámetros para el modelo ITM o Longley-Rice ?

15.000	Earth Dielectric Constant (Relative permittivity)
0.005	Earth Conductivity (Siemens per meter)
301.000	Atmospheric Bending Constant (N-Units)
300.000	Frequency in MHz (20 MHz to 20 GHz)
5	Radio Climate
0	Polarization (0 = Horizontal, 1 = Vertical)
0.50	Fraction of situations
0.50	Fraction of time
1000	Watts ERP

Se pueden incluir ciudades y límites cartográficos con la opción respectiva:

Gráfico 39.- Opciones para predicción de cobertura

☒ Incluir ciudades/sitios (-s) y límites cartográficos (-b) en los mapas

1.33333 Factor multiplicador del radio de la tierra (-m)

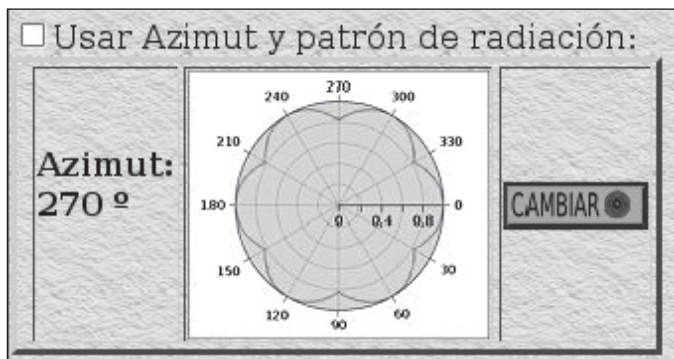
☒ Usar Sistema Métrico

☐ Graficar Transparencia de la Cobertura (el doble de tiempo)

Uso de antenas directivas

Para los cálculos de predicción de cobertura, el usuario puede utilizar antenas directivas, para ello es necesario habilitar el *checkbox* “Usar Ázimet”

Gráfico 40.- Uso de Ázimet y patrón de radiación



Si se desea usar esta opción, antes de ingresar los datos de coordenadas del sitio de transmisión, se debe establecer el Ázimet y seleccionar uno de los tipos de patrones de radiación de antenas incorporados en la aplicación⁵⁶.

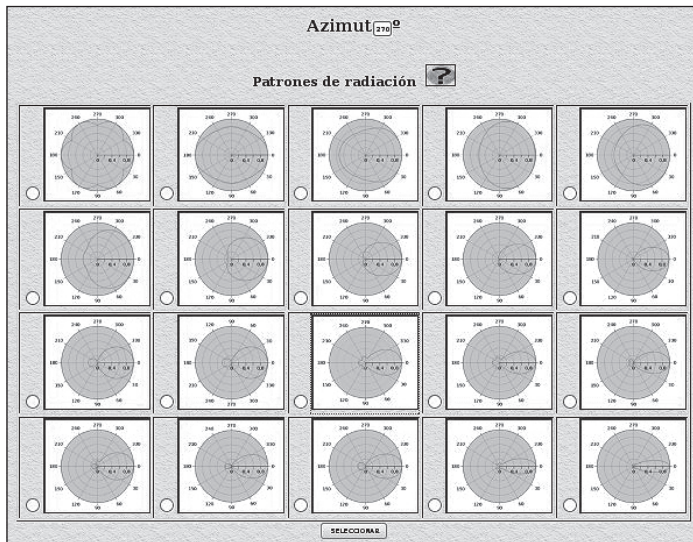
Al hacer clic en el botón “**cambiar**” se mostrarán gráficamente los modelos de patrones de radiación disponibles. El usuario puede elegir el patrón mas cercano a su necesidad, o, en caso contrario, si tiene la aplicación instalada en su máquina, puede modificar uno de los patrones de radiación ubicados en `/var/www/splat/antenas` o en la carpeta en la que haya instalado la interfaz gráfica SPLAT-GUI.

⁵⁶ SPLAT-GUI utiliza patrones de radiación de las antenas profesionales *Kathrein*. Disponible en: <http://www.kathrein-scala.com/>

En el cuadro superior, se ingresa el **Ázimet** en grados de la dirección de máxima radiación de la antena seleccionada para el sitio de transmisión.

De los gráficos de “**Patrones de radiación**”, se selecciona el patrón deseado en el *checkbox* radial y se da clic en el botón “**seleccionar**” que está en la parte inferior.

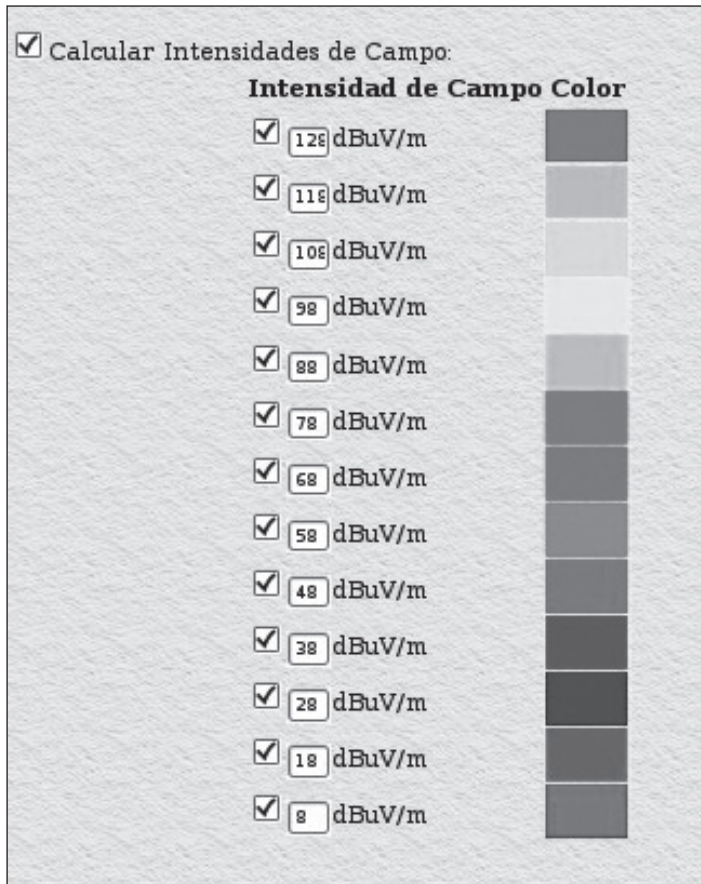
Gráfico 41.- Uso de **Ázimet** y patrón de radiación



Esto retorna a la pantalla inicial pero con el patrón de radiación seleccionado; entonces, se ingresan los datos de coordenadas del transmisor o transmisores como se describe arriba.

Para el mapa resultante, se pueden relacionar los contornos de intensidad de campo con colores y establecer el límite de la intensidad de campo a presentarse; para ello, se debe establecer el valor y el color relacionado de la intensidad de campo.

Gráfico 42.- Relación de intensidades de campo con colores



Por ejemplo, para la legislación ecuatoriana vigente al año 2014, para las estaciones de FM de potencia normal se requiere realizar la predicción de cobertura para las zonas principal y secundaria delimitadas por intensidades de campo de 54 dBuV/m y 30 dBuV/m respectivamente.

En este caso, se podrían seleccionar solo dos colores y asociarlos a las zonas principal y secundaria delimitadas por intensidades de campo de 54 dBuV/m y 30 dBuV/m y dejar los otros *checkbox* sin marcar.

Finalmente se debe hacer clic en calcular y el programa SPLAT! Realizará los cálculos necesarios y presentará los gráficos y cálculos resultantes similares al gráfico 13.

Agregar herramientas adicionales

Se tenía pensado que la distribución personalizada que acompaña a este texto, contenga también el mapa digitalizado del IGM del Ecuador en escala 1:500.000. Sin embargo, por restricciones legales, no se pudo incorporar estas herramientas.

Este elemento el usuario deberá descargarlo e instalarlo en su computador una vez que instale el sistema operativo contenido en el CD.

Como sugerencia para explotar la capacidad de SPLAT! de exportar las áreas de cobertura sobre *Google earth*, se recomienda al usuario que, luego de instalar este CD en su computador, instale la versión actualizada de *Google earth*. Para ello, con conexión a Internet, digite las siguientes instrucciones en un terminal:

1. ***sudo apt-get install googleearth-package lsb-core.***

La contraseña que le pedirá el sistema, por defecto es “splat” sin comillas.

2. ***sudo make-googleearth-package-force***
3. ***sudo dpkg -i *deb***
4. ***sudo apt-get -f install***

5. Descargue el mapa físico digitalizado de Ecuador, desde la página web del Instituto Geográfico Militar del Ecuador, IGM.⁵⁷ Esta es una imagen que deberá ser recortada en imágenes de 1° por 1° para generar un archivo kml que pueda ser abierto con una resolución aceptable por *Google earth*⁵⁸.

57 Disponible en:
http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/recursos-1/Mapa-Geografico-del-Ecuador-escala-1-500000/500mil-IGM.jpg/at_download/file
(consulta: diciembre de 2011).

58 De hecho, se puede georeferenciar todo el mapa, pero *Google earth* disminuye notablemente la resolución por el tamaño de la imagen, lo que hace que se pixelee exageradamente.

Apéndice

Modelo *Longley-Rice*

El modelo *Longley-Rice* es un modelo matemático desarrollado por A. G. Longley and P. L. Rice, ESS en 1968⁵⁹.

Este método se encuentra documentado y fue publicado por el gobierno de los Estados Unidos bajo el título “Prediction of tropospheric radio transmission loss over irregular terrain. A computer method-1968”⁶⁰,

El modelo *Longley-Rice* permite hacer cálculos de propagación para enlaces punto a punto y punto a zona, que son los modos de operación del programa. Es utilizado como motor de cálculos de varios programas de telecomunicaciones como SPLAT!⁶¹, Radiomobile⁶² y otros.

59 Disponible en <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/676874.pdf> accedido en enero del 2013,

60 Disponible en <http://www.qsl.net/kd2bd/splat.html> accedido en enero de 2013.

Este modelo ha sido diseñado para operar a frecuencias superiores a 20 MHz, de acuerdo con el documento original; sin embargo existen referencias del rango de operación de 20 MHz a 20 GHz⁶³ y de 20 MHz a 40 GHz⁶⁴.

Este modelo matemático está diseñado para usar equipos de cómputo para desarrollar sus cálculos, en el documento original constan los flujogramas del programa y el código fuente programado para un computador “Control Data Corporation CDC-3600”⁶⁵.

El Modelo *Longley-Rice* está diseñado para ser utilizado en análisis de largas distancias en el que el transmisor y receptor se encuentran alejados 1 a 2000 Km⁶⁶. Para el cálculo considera las irregularidades del terreno y usa para ello el perfil del terreno y los siguientes parámetros⁶⁷.

61 Disponible en <http://www.cplus.org/rmw/english1.html> (consulta: enero de 2013).

62 Disponible en http://en.wikipedia.org/wiki/Longley%E2%80%93Rice_model (consulta: enero de 2013).

63 Disponible en <http://www.awe-communications.com/Propagation/Rural/ITM/index.htm>, (consulta: enero de 2013).

64 Prediction of Tropospheric Radio Transmission Loss Over Irregular Terrain - A Computer Method. (1968)

65 Disponible en http://www.softwright.com/faq/engineering/prop_longley_rice.html. (consulta: enero de 2013).

66 Para desglosar los parámetros, se ha usado como base la documentación del programa SPLAT!, el cual está licenciado como GNU/GPL y permite acceso libre a la documentación y código fuente y basa su funcionamiento en los modelos *Longley-Rice* e ITWOM, seleccionado por el usuario.

67 Ubuntu Customization Kit es una herramienta que sirve para personalizar una distribución de Ubuntu®, que permite generar una imagen iso. UCK está disponible a través del repositorio o descargándolo desde su sitio web <http://sourceforge.net/projects/uck/>.

Constante dieléctrica de la tierra (permeabilidad relativa)
 Conductividad de la tierra (Siemens por metro)
 Constante Atmosférica Bending Constant (N-Unidades)
 Tipos de Clima Frecuencia entre 20 MHz y 20 GHz
 Polarización Horizontal y Vertical
 Estadísticamente se considera las intensidades de campo
 basados en el porcentaje de las ubicaciones para distintos
 porcentajes de tiempo a través de la relación de la fracción
 de situaciones con la fracción de tiempo

Como muestra, se presenta un segmento del código fuente de
 SPLAT!, programado en C, en el cual se ingresan los pará-
 metros *Longley-Rice*:

```

.....
if (olditm)
fprintf(fd2,"Longley-Rice Parameters Used In This
Analysis:\n\n");
else
fprintf(fd2,"ITWOM Version %.1f Parameters Used In
This Analysis:\n\n",ITWOMVersion());
fprintf(fd2,"Earth's Dielectric Constant: %.3lf\n",LR.
eps_dielect);
fprintf(fd2,"Earth's Conductivity: %.3lf Siemens/meter\
n",LR.sgm_conductivity);
fprintf(fd2,"Atmospheric Bending Constant (N-units):
%.3lf ppm\n",LR.eno_ns_surfref);
fprintf(fd2,"Frequency: %.3lf MHz\n",LR.frq_mhz);
fprintf(fd2,"Radio Climate: %d ("LR.radio_climate);
switch (LR.radio_climate)
.....
  
```

Live-CD que acompaña al texto

Usando UCK[O] se ha personalizado la distribución GNU/Linux Xubuntu 12.04® en la cual se instaló:

1. Splat, versión 1.4.x
2. Interfaz gráfica SPLAT-GUI
3. Mapas SRTM del Ecuador convertidos al formato SDF para SPLAT!
4. *Google earth*®
5. Mapa digital del Ecuador, georeferenciado para *Google earth*

El usuario puede arrancar el CD en modo de prueba y usar SPLAT! sin instalarlo en su computador, con la precaución de grabar en un dispositivo externo los resultados de sus cálculos. O puede instalarlo en una partición disponible o sobre una máquina virtual.

Sin embargo, se debe considerar que al trabajar desde el CD, el sistema operativo y los programas se ejecutarán lentamente, dependiendo de la velocidad del computador.

GNU *Free Documentation License*

Version 1.3, 3 November 2008

Copyright © 2000, 2001, 2002, 2007, 2008 Free Software Foundation, Inc. <<http://fsf.org/>>

Everyone is permitted to copy and distribute verbatim copies of this license document, but changing it is not allowed.

0. Preamble

The purpose of this License is to make a manual, textbook, or other functional and useful document “free” in the sense of freedom: to assure everyone the effective freedom to copy and redistribute it, with or without modifying it, either commercially or noncommercially. Secondly, this License preserves for the author and publisher a way to get credit for their work, while not being considered responsible for modifications made by others.

This License is a kind of “copyleft”, which means that derivative works of the document must themselves be free in the same sense. It complements the GNU General Public License, which is a copyleft license designed for free software.

We have designed this License in order to use it for manuals for free software, because free software needs free documentation: a free program should come with manuals providing the same freedoms that the software does. But this License is not limited to software manuals; it can be used for any textual work, regardless of subject matter or whether it is published as a printed book. We recommend this License principally for works whose purpose is instruction or reference.

1. Applicability and definitions

This License applies to any manual or other work, in any medium, that contains a notice placed by the copyright holder saying it can be distributed under the terms of this License. Such a notice grants a world-wide, royalty-free license, unlimited in duration, to use that work under the conditions stated herein. The “Document”, below, refers to any such manual or work. Any member of the public is a licensee, and is addressed as “you”. You accept the license if you copy, modify or distribute the work in a way requiring permission under copyright law.

A “Modified Version” of the Document means any work containing the Document or a portion of it, either copied verbatim, or with modifications and/or translated into another language.

A “Secondary Section” is a named appendix or a front-matter section of the Document that deals exclusively with the relationship of the publishers or authors of the Document to the Document’s overall subject (or to related matters) and contains nothing that could fall directly within that overall subject. (Thus, if the Document is in part a textbook of mathematics, a Secondary Section may not explain any

mathematics.) The relationship could be a matter of historical connection with the subject or with related matters, or of legal, commercial, philosophical, ethical or political position regarding them.

The “Invariant Sections” are certain Secondary Sections whose titles are designated, as being those of Invariant Sections, in the notice that says that the Document is released under this License. If a section does not fit the above definition of Secondary then it is not allowed to be designated as Invariant. The Document may contain zero Invariant Sections. If the Document does not identify any Invariant Sections then there are none.

The “Cover Texts” are certain short passages of text that are listed, as Front-Cover Texts or Back-Cover Texts, in the notice that says that the Document is released under this License. A Front-Cover Text may be at most 5 words, and a Back-Cover Text may be at most 25 words.

A “Transparent” copy of the Document means a machine-readable copy, represented in a format whose specification is available to the general public, that is suitable for revising the document straightforwardly with generic text editors or (for images composed of pixels) generic paint programs or (for drawings) some widely available drawing editor, and that is suitable for input to text formatters or for automatic translation to a variety of formats suitable for input to text formatters. A copy made in an otherwise Transparent file format whose markup, or absence of markup, has been arranged to thwart or discourage subsequent modification by readers is not Transparent. An image format is not Transparent if used for any substantial amount of text. A copy that is not “Transparent” is called “Opaque”.

Examples of suitable formats for Transparent copies include plain ASCII without markup, Texinfo input format, LaTeX input format, SGML or XML using a publicly available DTD, and standard-conforming simple HTML, PostScript or PDF designed for human modification. Examples of transparent image formats include PNG, XCF and JPG. Opaque formats include proprietary formats that can be read and edited only by proprietary word processors, SGML or XML for which the DTD and/or processing tools are not generally available, and the machine-generated HTML, PostScript or PDF produced by some word processors for output purposes only.

The “Title Page” means, for a printed book, the title page itself, plus such following pages as are needed to hold, legibly, the material this License requires to appear in the title page. For works in formats which do not have any title page as such, “Title Page” means the text near the most prominent appearance of the work’s title, preceding the beginning of the body of the text.

The “publisher” means any person or entity that distributes copies of the Document to the public.

A section “Entitled XYZ” means a named subunit of the Document whose title either is precisely XYZ or contains XYZ in parentheses following text that translates XYZ in another language. (Here XYZ stands for a specific section name mentioned below, such as “Acknowledgements”, “Dedications”, “Endorsements”, or “History”.) To “Preserve the Title” of such a section when you modify the Document means that it remains a section “Entitled XYZ” according to this definition.

The Document may include Warranty Disclaimers next to the notice which states that this License applies to the Document. These Warranty Disclaimers are considered to

be included by reference in this License, but only as regards disclaiming warranties: any other implication that these Warranty Disclaimers may have is void and has no effect on the meaning of this License.

2. Verbatim copying

You may copy and distribute the Document in any medium, either commercially or noncommercially, provided that this License, the copyright notices, and the license notice saying this License applies to the Document are reproduced in all copies, and that you add no other conditions whatsoever to those of this License. You may not use technical measures to obstruct or control the reading or further copying of the copies you make or distribute. However, you may accept compensation in exchange for copies. If you distribute a large enough number of copies you must also follow the conditions in section 3.

You may also lend copies, under the same conditions stated above, and you may publicly display copies.

3. Copying in quantity

If you publish printed copies (or copies in media that commonly have printed covers) of the Document, numbering more than 100, and the Document's license notice requires Cover Texts, you must enclose the copies in covers that carry, clearly and legibly, all these Cover Texts: Front-Cover Texts on the front cover, and Back-Cover Texts on the back cover. Both covers must also clearly and legibly identify you as the publisher of these copies. The front cover must present the full title with all words of the title equally prominent and visible. You may add other material on the covers in addition. Copying with changes limited to the covers, as

long as they preserve the title of the Document and satisfy these conditions, can be treated as verbatim copying in other respects.

If the required texts for either cover are too voluminous to fit legibly, you should put the first ones listed (as many as fit reasonably) on the actual cover, and continue the rest onto adjacent pages.

If you publish or distribute Opaque copies of the Document numbering more than 100, you must either include a machine-readable Transparent copy along with each Opaque copy, or state in or with each Opaque copy a computer-network location from which the general network-using public has access to download using public-standard network protocols a complete Transparent copy of the Document, free of added material. If you use the latter option, you must take reasonably prudent steps, when you begin distribution of Opaque copies in quantity, to ensure that this Transparent copy will remain thus accessible at the stated location until at least one year after the last time you distribute an Opaque copy (directly or through your agents or retailers) of that edition to the public.

It is requested, but not required, that you contact the authors of the Document well before redistributing any large number of copies, to give them a chance to provide you with an updated version of the Document.

4. Modifications

You may copy and distribute a Modified Version of the Document under the conditions of sections 2 and 3 above, provided that you release the Modified Version under precisely this License, with the Modified Version filling the role of the Document, thus licensing distribution and

modification of the Modified Version to whoever possesses a copy of it. In addition, you must do these things in the Modified Version:

A. Use in the Title Page (and on the covers, if any) a title distinct from that of the Document, and from those of previous versions (which should, if there were any, be listed in the History section of the Document). You may use the same title as a previous version if the original publisher of that version gives permission. B. List on the Title Page, as authors, one or more persons or entities responsible for authorship of the modifications in the Modified Version, together with at least five of the principal authors of the Document (all of its principal authors, if it has fewer than five), unless they release you from this requirement. C. State on the Title page the name of the publisher of the Modified Version, as the publisher. D. Preserve all the copyright notices of the Document. E. Add an appropriate copyright notice for your modifications adjacent to the other copyright notices. F. Include, immediately after the copyright notices, a license notice giving the public permission to use the Modified Version under the terms of this License, in the form shown in the Addendum below. G. Preserve in that license notice the full lists of Invariant Sections and required Cover Texts given in the Document's license notice. H. Include an unaltered copy of this License. I. Preserve the section Entitled "History", Preserve its Title, and add to it an item stating at least the title, year, new authors, and publisher of the Modified Version as given on the Title Page. If there is no section Entitled "History" in the Document, create one stating the title, year, authors, and publisher of the Document as given on its Title Page, then add an item describing the Modified Version as stated in the previous sentence. J. Preserve the network location, if any, given in the Document

for public access to a Transparent copy of the Document, and likewise the network locations given in the Document for previous versions it was based on. These may be placed in the “History” section. You may omit a network location for a work that was published at least four years before the Document itself, or if the original publisher of the version it refers to gives permission. K. For any section Entitled “Acknowledgements” or “Dedications”, Preserve the Title of the section, and preserve in the section all the substance and tone of each of the contributor acknowledgements and/or dedications given therein. L. Preserve all the Invariant Sections of the Document, unaltered in their text and in their titles. Section numbers or the equivalent are not considered part of the section titles. M. Delete any section Entitled “Endorsements”. Such a section may not be included in the Modified Version. N. Do not retitle any existing section to be Entitled “Endorsements” or to conflict in title with any Invariant Section. O. Preserve any Warranty Disclaimers.

If the Modified Version includes new front-matter sections or appendices that qualify as Secondary Sections and contain no material copied from the Document, you may at your option designate some or all of these sections as invariant. To do this, add their titles to the list of Invariant Sections in the Modified Version’s license notice. These titles must be distinct from any other section titles.

You may add a section Entitled “Endorsements”, provided it contains nothing but endorsements of your Modified Version by various parties—for example, statements of peer review or that the text has been approved by an organization as the authoritative definition of a standard.

You may add a passage of up to five words as a Front-Cover Text, and a passage of up to 25 words as a Back-Cover

Text, to the end of the list of Cover Texts in the Modified Version. Only one passage of Front-Cover Text and one of Back-Cover Text may be added by (or through arrangements made by) any one entity. If the Document already includes a cover text for the same cover, previously added by you or by arrangement made by the same entity you are acting on behalf of, you may not add another; but you may replace the old one, on explicit permission from the previous publisher that added the old one.

The author(s) and publisher(s) of the Document do not by this License give permission to use their names for publicity for or to assert or imply endorsement of any Modified Version.

5. Combining documents

You may combine the Document with other documents released under this License, under the terms defined in section 4 above for modified versions, provided that you include in the combination all of the Invariant Sections of all of the original documents, unmodified, and list them all as Invariant Sections of your combined work in its license notice, and that you preserve all their Warranty Disclaimers.

The combined work need only contain one copy of this License, and multiple identical Invariant Sections may be replaced with a single copy. If there are multiple Invariant Sections with the same name but different contents, make the title of each such section unique by adding at the end of it, in parentheses, the name of the original author or publisher of that section if known, or else a unique number. Make the same adjustment to the section titles in the list of Invariant Sections in the license notice of the combined work.

In the combination, you must combine any sections Entitled “History” in the various original documents, forming one

section Entitled “History”; likewise combine any sections Entitled “Acknowledgements”, and any sections Entitled “Dedications”. You must delete all sections Entitled “Endorsements”.

6. Collections of documents

You may make a collection consisting of the Document and other documents released under this License, and replace the individual copies of this License in the various documents with a single copy that is included in the collection, provided that you follow the rules of this License for verbatim copying of each of the documents in all other respects.

You may extract a single document from such a collection, and distribute it individually under this License, provided you insert a copy of this License into the extracted document, and follow this License in all other respects regarding verbatim copying of that document.

7. Aggregation with independent works

A compilation of the Document or its derivatives with other separate and independent documents or works, in or on a volume of a storage or distribution medium, is called an “aggregate” if the copyright resulting from the compilation is not used to limit the legal rights of the compilation’s users beyond what the individual works permit. When the Document is included in an aggregate, this License does not apply to the other works in the aggregate which are not themselves derivative works of the Document.

If the Cover Text requirement of section 3 is applicable to these copies of the Document, then if the Document is less than one half of the entire aggregate, the Document’s Cover Texts may be placed on covers that bracket the Document

within the aggregate, or the electronic equivalent of covers if the Document is in electronic form. Otherwise they must appear on printed covers that bracket the whole aggregate.

8. Translation

Translation is considered a kind of modification, so you may distribute translations of the Document under the terms of section 4. Replacing Invariant Sections with translations requires special permission from their copyright holders, but you may include translations of some or all Invariant Sections in addition to the original versions of these Invariant Sections. You may include a translation of this License, and all the license notices in the Document, and any Warranty Disclaimers, provided that you also include the original English version of this License and the original versions of those notices and disclaimers. In case of a disagreement between the translation and the original version of this License or a notice or disclaimer, the original version will prevail.

If a section in the Document is Entitled “Acknowledgements”, “Dedications”, or “History”, the requirement (section 4) to Preserve its Title (section 1) will typically require changing the actual title.

9. Termination

You may not copy, modify, sublicense, or distribute the Document except as expressly provided under this License. Any attempt otherwise to copy, modify, sublicense, or distribute it is void, and will automatically terminate your rights under this License.

However, if you cease all violation of this License, then your license from a particular copyright holder is reinstated (a)

provisionally, unless and until the copyright holder explicitly and finally terminates your license, and (b) permanently, if the copyright holder fails to notify you of the violation by some reasonable means prior to 60 days after the cessation.

Moreover, your license from a particular copyright holder is reinstated permanently if the copyright holder notifies you of the violation by some reasonable means, this is the first time you have received notice of violation of this License (for any work) from that copyright holder, and you cure the violation prior to 30 days after your receipt of the notice.

Termination of your rights under this section does not terminate the licenses of parties who have received copies or rights from you under this License. If your rights have been terminated and not permanently reinstated, receipt of a copy of some or all of the same material does not give you any rights to use it.

10. Future revisions of this license

The Free Software Foundation may publish new, revised versions of the GNU Free Documentation License from time to time. Such new versions will be similar in spirit to the present version, but may differ in detail to address new problems or concerns. See <http://www.gnu.org/copyleft/>.

Each version of the License is given a distinguishing version number. If the Document specifies that a particular numbered version of this License “or any later version” applies to it, you have the option of following the terms and conditions either of that specified version or of any later version that has been published (not as a draft) by the Free Software Foundation. If the Document does not specify a version number of this License, you may choose any version ever published (not as a draft) by the Free Software Foundation. If the Document

specifies that a proxy can decide which future versions of this License can be used, that proxy's public statement of acceptance of a version permanently authorizes you to choose that version for the Document.

11. Relicensing

“Massive Multiauthor Collaboration Site” (or “MMC Site”) means any World Wide Web server that publishes copyrightable works and also provides prominent facilities for anybody to edit those works. A public wiki that anybody can edit is an example of such a server. A “Massive Multiauthor Collaboration” (or “MMC”) contained in the site means any set of copyrightable works thus published on the MMC site.

“CC-BY-SA” means the Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 license published by Creative Commons Corporation, a not-for-profit corporation with a principal place of business in San Francisco, California, as well as future copyleft versions of that license published by that same organization.

“Incorporate” means to publish or republish a Document, in whole or in part, as part of another Document.

An MMC is “eligible for relicensing” if it is licensed under this License, and if all works that were first published under this License somewhere other than this MMC, and subsequently incorporated in whole or in part into the MMC, (1) had no cover texts or invariant sections, and (2) were thus incorporated prior to November 1, 2008.

The operator of an MMC Site may republish an MMC contained in the site under CC-BY-SA on the same site at any time before August 1, 2009, provided the MMC is eligible for relicensing.

*Este libro se terminó de imprimir
en febrero de 2014, siendo
director general del CIESPAL
Fernando Checa Montúfar y
coordinadora del Centro
Editorial y Documentación
Pamela J. Cruz*

