

Análisis de cobertura de radar en seis ubicaciones dentro del Valle de México

Michel Rosengaus Moshinsky

Servicio Meteorológico Nacional (vía INFOTEC), D.F., México, mickros@prodigy.net.mx

Introducción

La enorme población y actividad humana dentro del Valle de México hace a esta cuenca la primera que debiera tener cobertura detallada de un radar meteorológico, para aplicaciones de manejo hidráulico de la cuenca (parcialmente urbana, parcialmente rural), prevención de inundaciones, movilización de cuadrillas de emergencia, evaluación de recarga del acuífero, alerta temprana a la población, manejo de tráfico vehicular, prevención contra efectos de tormentas eléctricas, etc. Tanto por el cambio climático local producido por la propia ciudad, como por las perspectivas de efectos del cambio climático global en las tormentas severas, dicha cobertura se hace cada vez más urgente. Encontrar una ubicación ideal para un radar dentro del Valle de México no es una tarea obvia.

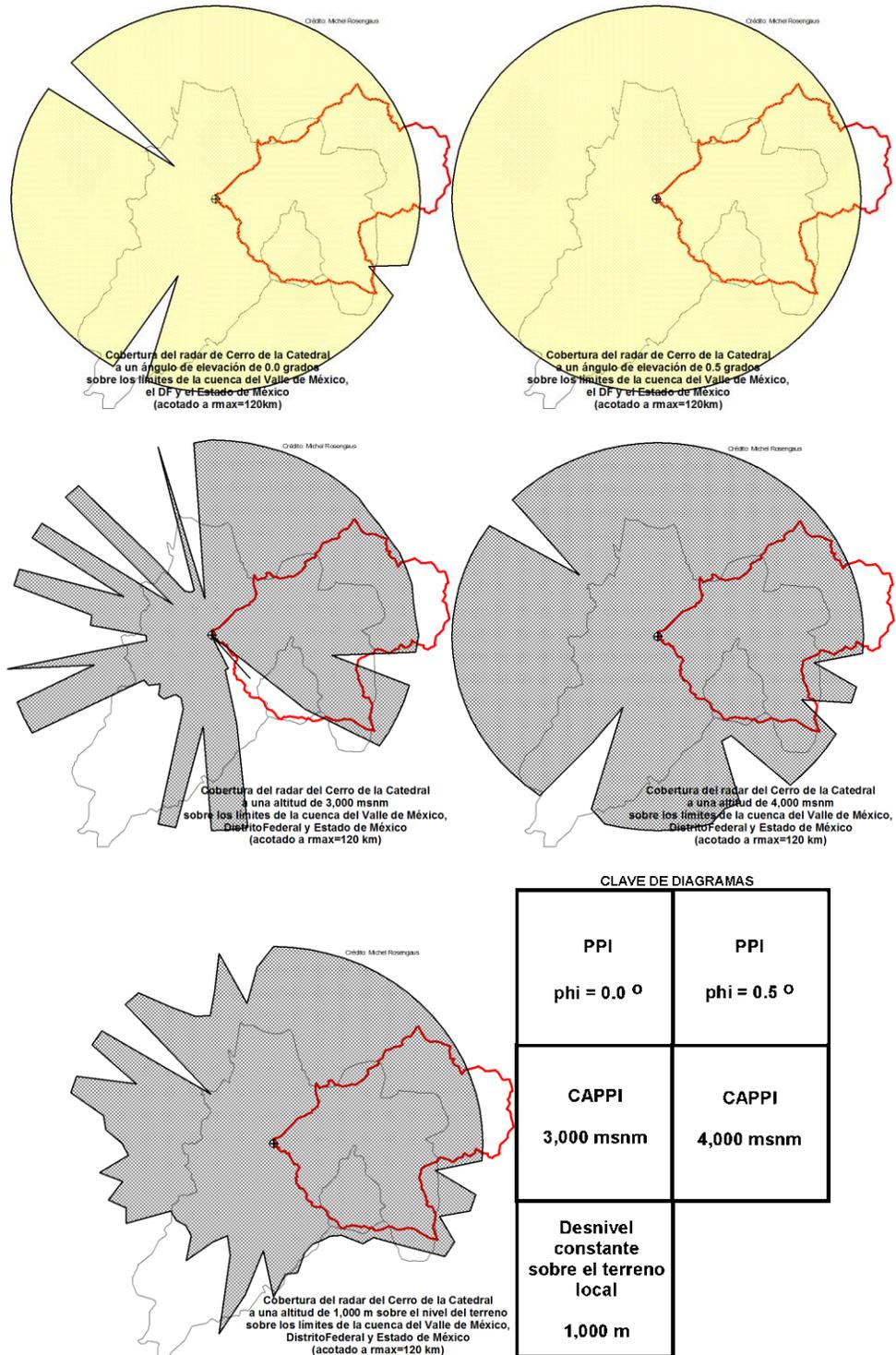
Antecedentes

La cuenca del Valle de México, de carácter endorréico, tiende a tener en su parte más baja, naturalmente, un lago. Hoy, esa parte más baja se encuentra densamente urbanizada con una población total que la hace una de las ciudades más grandes del mundo. Como tal, su infraestructura de medición en tiempo real de la precipitación pluvial, requiere ser de avanzada. Aunque se cuenta con numerosos puntos de medición que reportan en tiempo real, un radar meteorológico produciría productos muy útiles para la administración de emergencias en la ciudad, así como un magnífico mecanismo de interpolación física (no geométrica) entre las mediciones puntuales.

El radar ubicado en el Cerro de la Catedral, unos 40 km al NW de la Ciudad de México (Rosengaus, 2000) y en el borde de la cuenca, tiene una excelente cobertura del Valle de México. Pero su altitud de 3,720 msnm, del orden de 1,500 m sobre el nivel del fondo del Valle, lo hace inadecuado para muchas de las aplicaciones hidrológicas (aquellas que requieren de una estimación cuantitativa de la lluvia), pues aun operando en la horizontal, observa a las tormentas a un nivel mayor que el de la base de las mismas. Su operación regular a alcances de 300 km proporciona, además, resoluciones espaciales insuficientes para esas mismas aplicaciones hidrológicas (del orden de 2x2 km). Por ser conveniente a modo de referencia, sus diagramas de cobertura (operando a un alcance de 120 km) a ángulos de elevación constantes de 0.0° y 0.5°, sus diagramas de cobertura a niveles

atmosféricos constantes de 3,000 y 4,000 m sobre el nivel del mar y su diagrama de cobertura a 1,000 metros sobre el nivel (local) del terreno se muestran en la Figura 1, esto sobre contornos de la cuenca del Valle de México, del Distrito Federal y del Estado de México.

Figura 1. Diagramas de cobertura del actual radar en el Cerro de la Catedral.



Ubicaciones consideradas

Las ubicaciones consideradas dentro del Valle de México fueron seis, provenientes de diversas propuestas del SACM-GDF, de CAEM, del CCA-UNAM y del propio SMN. Muchas otras menos favorables fueron descartadas en el proceso y su cobertura no fue calculada. Las ubicaciones cubren una variedad de altitudes sobre el nivel del mar, la más alta en Cerro de los Tres Padres, la más baja en Texcoco. A continuación se presentan sus coordenadas. Las altitudes pueden no coincidir exactamente con el nivel del terreno a la longitud y latitud planteada debido a la altura de la torre considerada con base en condiciones locales. Los datos del radar ya existente se incluyen como referencia.

Identificador	longitud	latitud	Altitud	comentario
Cerro de la Estrella	-99.090119°	19.343402°	2394 msnm	Cima secundaria
Cerro de los Tres Padres	-99.115000°	+19.591650°	2935 msnm	Cima alterna a Televisa
Texcoco (ex - CEMCAS)	-98.972941°	+19.477517°	2240 msnm	Interior campus CEMCAS
Volcán de Guadalupe	-98.998405°	+19.325078°	2773 msnm	Labio del cráter
Tanque Lomas Verdes (CAEM)	-99.269000°	+19.513500°	2435 msnm	Lateral al tanque
Planta de tratamiento (CAEM)	-98.834000°	+19.513053°	2321 msnm	Campus planta
Cerro de la Catedral	-99.520000°	+19.555500°	3740 msnm	Cima

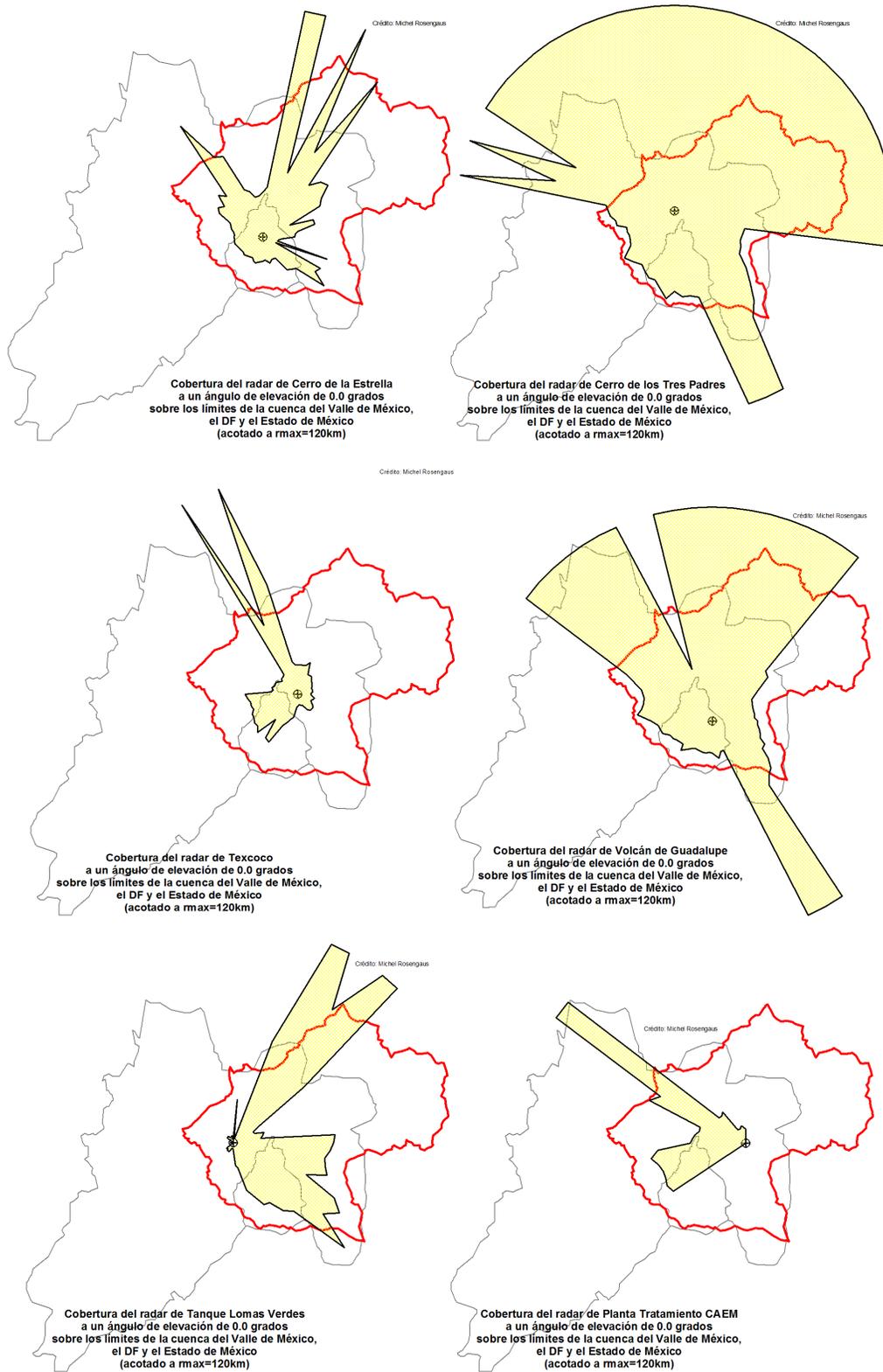
Herramienta utilizada

Los cálculos de cobertura se realizaron con los sistemas AUTOTOPO (Rosengaus 1992a) y COBRADAR (Rosengaus 1992b y Rosengaus 1993). Están basados en una simplificación de la topografía digital del terreno de INEGI con incrementos discretos de 25 m, con separación de puntos en planta de 180 m. Los perfiles topográficos radiales con 72 (cada 5°) y los incrementos radiales de 1 km. Considera solamente el eje del haz, no su volumen cónico completo. El cálculo de las coberturas para diferentes ángulos de elevación de la antena, diferentes niveles atmosféricos y diferentes alturas sobre el nivel local del terreno consideran tanto el bloqueo orográfico, como la curvatura de la Tierra y la refracción de los haces de radar en una atmósfera normal. En este caso específico los diagramas fueron recortados a alcances máximos de solo 120 km.

Comparación para PPI de cero grados

La forma más elemental de evaluar la visibilidad de la atmósfera desde un radar, es considerar un ángulo de elevación de la antena nulo, es decir un barrido horizontal (pero, por la curvatura de la Tierra, no equidistante de la superficie del terreno aún sin orografía). Se presentan los diagramas de cobertura calculados para este caso en la Figura 2.

Figura 2. Comparación de diagramas de cobertura para PPI 0.0° para las 6 ubicaciones (mismo orden que en la tabla de coordenadas, izquierda a derecha y arriba hacia abajo).



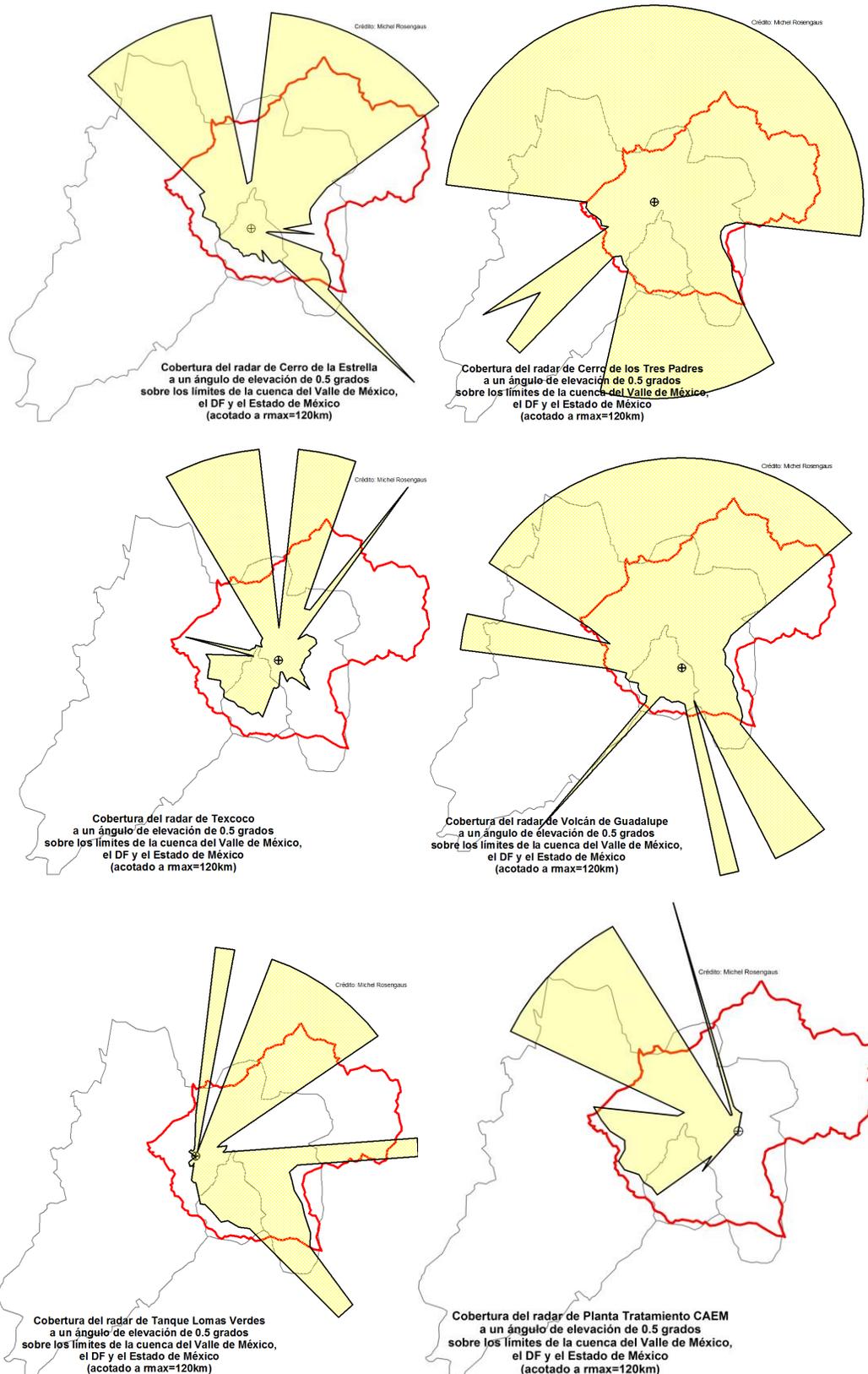
Evidentemente, para este contexto, las ubicaciones que se encuentran sobre cimas relativamente altas y aisladas muestran fuertes ventajas con respecto a las otras. Pero recuerde que la motivación para explorar ubicaciones dentro del Valle de México es precisamente que el radar del Cerro de la Catedral mide muy por arriba del nivel del suelo y ello lo inhabilita como una buena herramienta para fines hidrológicos. Observe también que el Cerro de los Tres Padres, al extremo Norte del DF, representa un obstáculo orográfico significativo para las cinco ubicaciones alternas. Esto se manifiesta como “cuñas” de no visibilidad en la dirección de dicha cima. El caso de Texcoco presenta limitada cobertura por estar en terreno plano y relativamente cerca del fondo del Valle. Sin embargo observe que aún así cubre una parte significativa de la zona densamente urbanizada. Las ubicaciones de Tanque Lomas Verdes y Planta de Tratamiento muestran visibilidad solo hacia un hemisferio (E y W respectivamente) por estar cerca de serranías más altas que su ubicación hacia el W y E respectivamente. Compare con la cobertura equivalente del radar en el Cerro de la Catedral en la Figura 1.

Comparación para PPI de 0.5 grados

Sin embargo, los haces de radar no son líneas, sino volúmenes cónicos. Un ángulo de apertura de dicho cono para un radar de calidad *Servicio Meteorológico Nacional* sería de 1° o menor. Así pues, aun cuando el eje de un haz horizontal no estuviera bloqueado por el relieve, relativamente a corta distancia sufriría un bloqueo parcial por la superficie de la Tierra, aun cuando esta no tuviese relieve. De esta forma es frecuente que los radares meteorológicos se operen a un ángulo de elevación de la mitad del ancho del haz, 0.5° en nuestro caso. Es por ello que la cobertura de un PPI a 0.5° resulta más realista para comparar diversas posibles ubicaciones de radar que un PPI a cero grados. En la Figura 3 se presenta la comparación entre las seis ubicaciones para un ángulo de elevación constante de 0.5 grados, que por cierto muestra una significativa diferencia con la mostrada en la Figura 2 para un ángulo de elevación nulo.

Evidentemente, muchos de los comentarios expresados en la sección anterior son aplicables aquí también. Pero es de notarse como la cobertura de la ubicación Cerro de la Estrella se amplifica al subir el ángulo de elevación de 0.0° a 0.5° . También destaca que el bloqueo que produce el Cerro de los Tres Padres a un radar en el Volcán de Guadalupe desaparece al incrementar el ángulo de elevación a 0.5° . Para facilitar la comparación cuantitativa, a continuación se presenta una tabla con el porcentaje de las áreas de la cuenca del Valle de México, del Distrito Federal y del Estado de México que quedan cubiertos para ángulo de elevación de 0.5 grados. En esta tabla por referencia, se incluye también la ubicación de Cerro de la Catedral al final de la tabla.

Figura 3. Comparación de diagramas de cobertura para PPI 0.5° para las 6 ubicaciones (mismo orden que en la tabla de coordenadas, izquierda a derecha y arriba hacia abajo).



Ubicación	% cuenca cubierto	% DF cubierto	% EdoMex cubierto
Cerro de la Estrella	67.5%	59.2%	33.4%
Cerro de los Tres Padres	97.5%	100%	57.8%
Texcoco	32.3%	47.6%	11.7%
Volcán de Guadalupe	80.3%	81.0%	51.7%
Tanque Lomas Verdes	53.8%	73.6%	18.8%
Planta de Tratamiento	28.3%	36.4%	22.7%
Cerro de la Catedral	91.0%	100%	97.2%

Comparación para CAPPI de 3,000 msnm

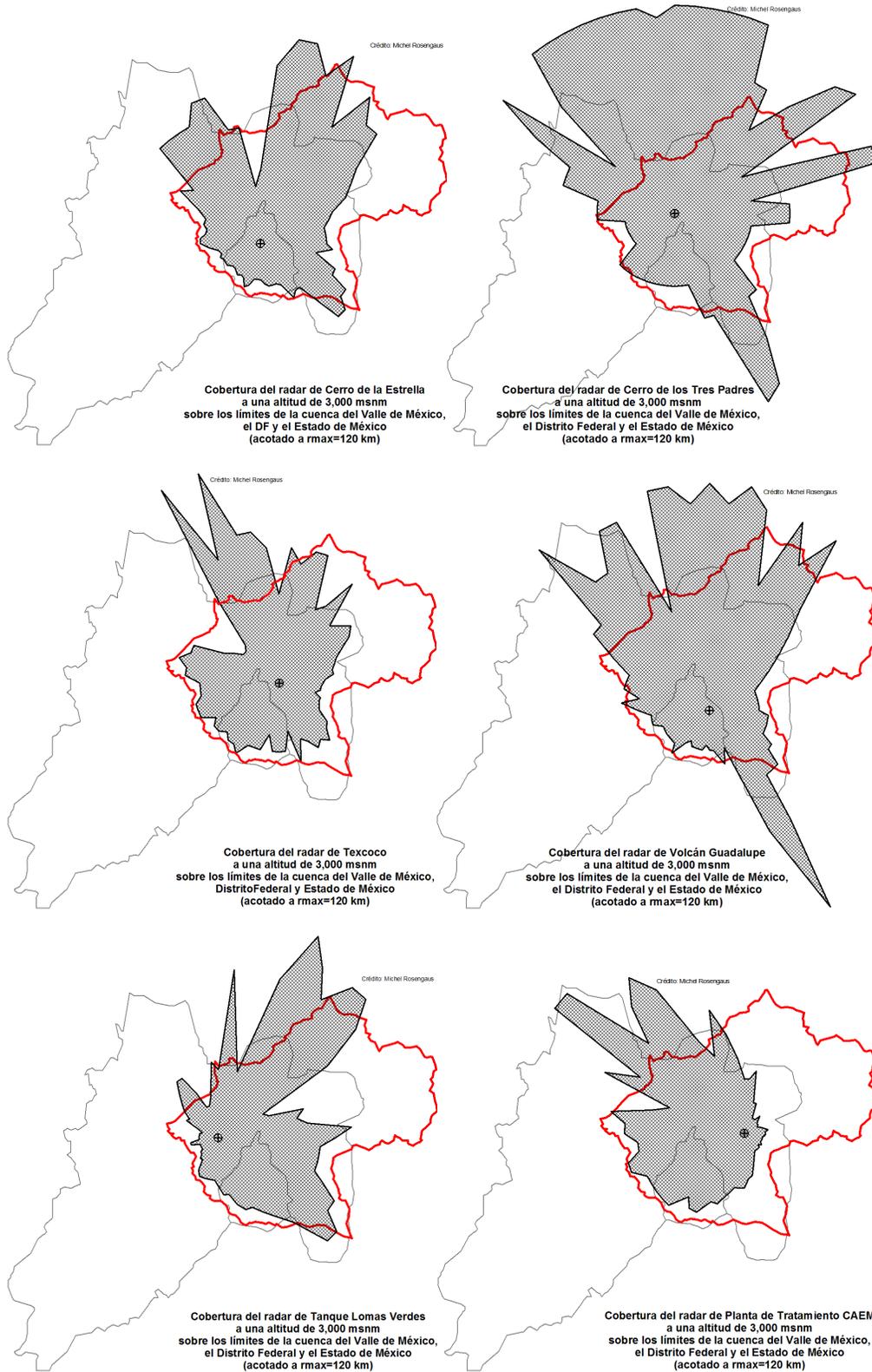
La operación normal de un radar meteorológico moderno es en barrido volumétrico, desde el cuál, al terminar el barrido, se pueden obtener los cortes que el usuario solicito. Los cortes que más sentido tienen para operación normal son los CAPPI a altitud atmosférica constante. Dado que el fondo del Valle de México se encuentra a alrededor de 2240 msnm, en el presente trabajo se comparan las coberturas de las seis ubicaciones utilizando la siguiente altitud redondeada a miles, es decir 3000 msnm. Esto es, las coberturas a mostrar en la Figura 4 son las correspondientes a unos 760 m sobre el nivel del fondo del Valle. Como se observará, las coberturas bajo esta óptica mejoran notablemente con respecto a aquellas que hasta ahora se han mostrado en PPI de 0.0° y 0.5°.

Los porcentajes de las áreas de la cuenca, del DF y del Estado de México cubiertas a 3000 msnm son:

Ubicación	% cuenca cubierto	% DF cubierto	% EdoMex cubierto
Cerro de la Estrella	63.7%	79.2%	28.3%
Cerro de los Tres Padres	75.0%	71.6%	39.6%
Texcoco	54.1%	75.7%	22.3%
Volcán de Guadalupe	69.3%	78.8%	36.0%
Tanque Lomas Verdes	56.2%	77.0%	22.4%
Planta de Tratamiento	44.4%	72.9%	23.9%
Cerro de la Catedral	83.4%	61.8%	65.6%

Bajo esta óptica, todas las ubicaciones tienen ya cobertura de la mayor parte de la zona urbana, cubriendo además extensas zonas de la cuenca fuera de dicha zona. Pero las cuñas de no visibilidad detrás del Cerro de los Tres Padres afectan la cobertura en el interior de la cuenca todavía para cuatro casos: Cerro de la Estrella, Texcoco, Tanque Lomas Verdes y Planta de Tratamiento. Por supuesto, la ubicación en Cerro de los Tres Padres sigue siendo la que muestra mejor cobertura. En este caso Cerro de la Estrella y Texcoco ya tienen un desempeño cualitativamente comparable. Es decir en barrido volumétrico con CAPPI 3000m, Texcoco mejora significativamente.

Figura 4. Comparación de diagramas de cobertura para CAPPI 3000 msnm para las 6 ubicaciones (mismo orden que en la tabla de coordenadas, izquierda a derecha y arriba hacia abajo).



Comparación para CAPPI de 4,000 msnm

Dado que la cobertura de la cuenca del Valle de México es incompleta para CAPPI de 3000 msnm, se procede a comparar los sitios para CAPPI de 4000 msnm, o sea 1760 m sobre el fondo del Valle, que sería ya una altitud máxima arriba de la cual los productos de estimación cuantitativa de lluvia en el suelo serían francamente deficientes. Aquí no hay sorpresas, las coberturas para cada ubicación crecen significativamente y en casi todos los casos la cobertura de la cuenca es casi completa (con excepción de la ubicación Planta de Tratamiento). Los diagramas de cobertura correspondientes se muestran en forma análoga a las anteriores en la Figura 5. Ahora los porcentajes de cobertura de la cuenca, el DF y el Estado de México resultan:

Ubicación	% cuenca cubierto	% DF cubierto	% EdoMex cubierto
Cerro de la Estrella	92.5%	100%	52.6%
Cerro de los Tres Padres	99.8%	100%	64.4%
Texcoco	91.0%	100%	46.5%
Volcán de Guadalupe	90.8%	100%	60.6%
Tanque Lomas Verdes	89.4%	100%	45.9%
Planta de Tratamiento	68.0%	100%	52.9%
Cerro de la Catedral	90.7%	100%	90.9%

Comparación para 1,000 m sobre el nivel local del terreno

Para aplicaciones hidrológicas, se desea poder estimar cuantitativamente la lluvia al mínimo nivel posible sobre el nivel local del terreno. Aunque éste no es un producto que se pueda obtener directamente de un barrido volumétrico en forma usual, resulta una buena métrica de comparación el hacerlo, digamos en este caso, para una altura de 1000 m sobre el nivel local del terreno. Esto es especialmente importante en el caso del Valle de México porque se tienen montañas todo alrededor y una parte importante de la cuenca de aportación se encuentra a niveles superiores al nivel de la ubicación del radar en cuestión. Así que se muestra la cobertura de radares en las posibles ubicaciones sobre una superficie con relieve igual al topográfico, pero 1000 m arriba de éste. Esto se muestra en la Figura 6. En términos de porcentajes de cobertura de la cuenca, DF y Estado de México bajo este criterio se tiene (sin considerar a Cerro de la Catedral por carecer de sentido):

Ubicación	% cuenca cubierto	% DF cubierto	% EdoMex cubierto
Cerro de la Estrella	86.0%	100%	48.0%
Cerro de los Tres Padres	81.5%	100%	38.5%
Texcoco	87.9%	100%	54.8%
Volcán de Guadalupe	90.8%	100%	60.6%
Tanque Lomas Verdes	78.6%	100%	39.5%
Planta de Tratamiento	62.5%	100%	42.9%

Figura 5. Comparación de diagramas de cobertura para CAPPI 4000 msnm para las 6 ubicaciones (mismo orden que en la tabla de coordenadas, izquierda a derecha y arriba hacia abajo).

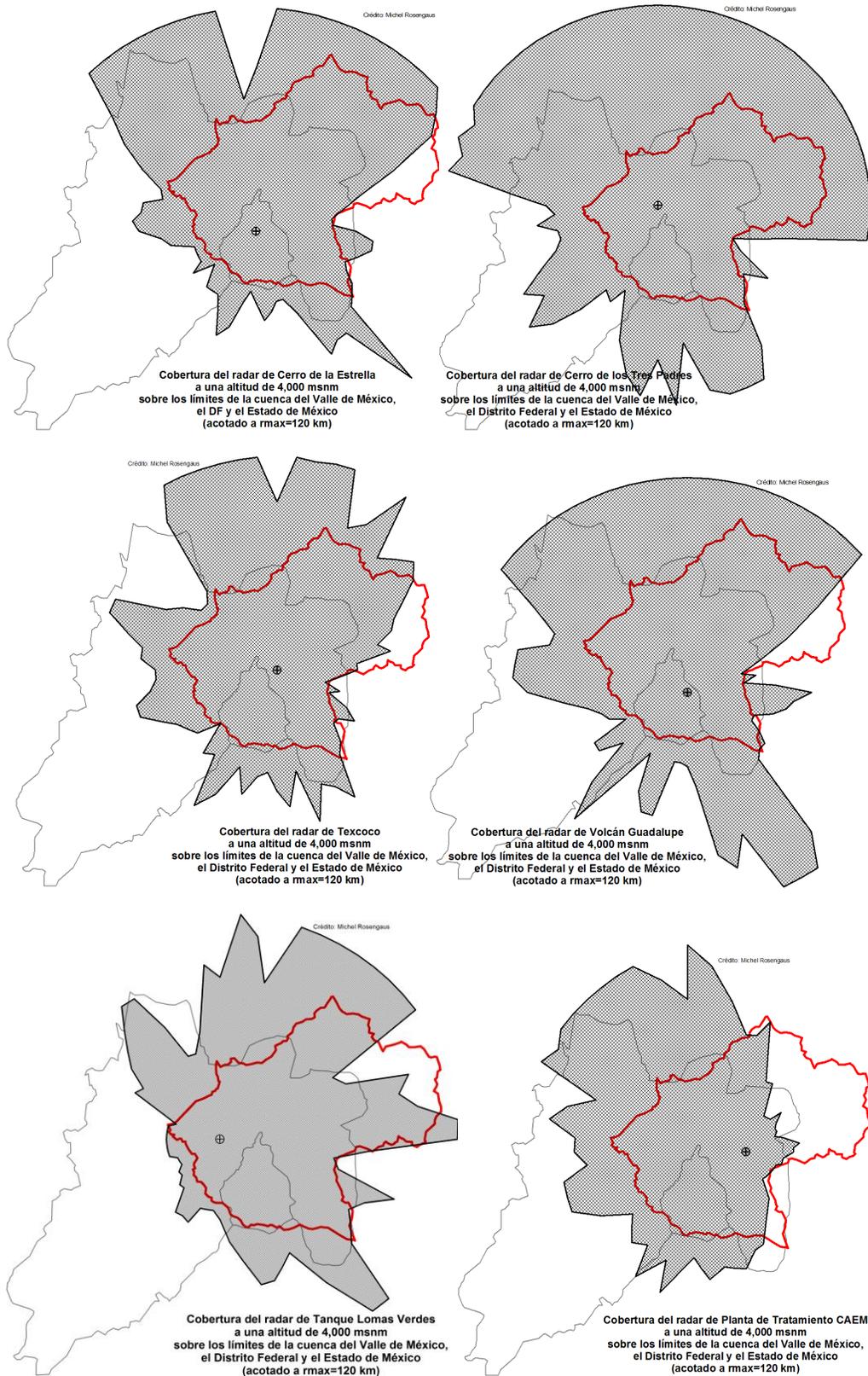
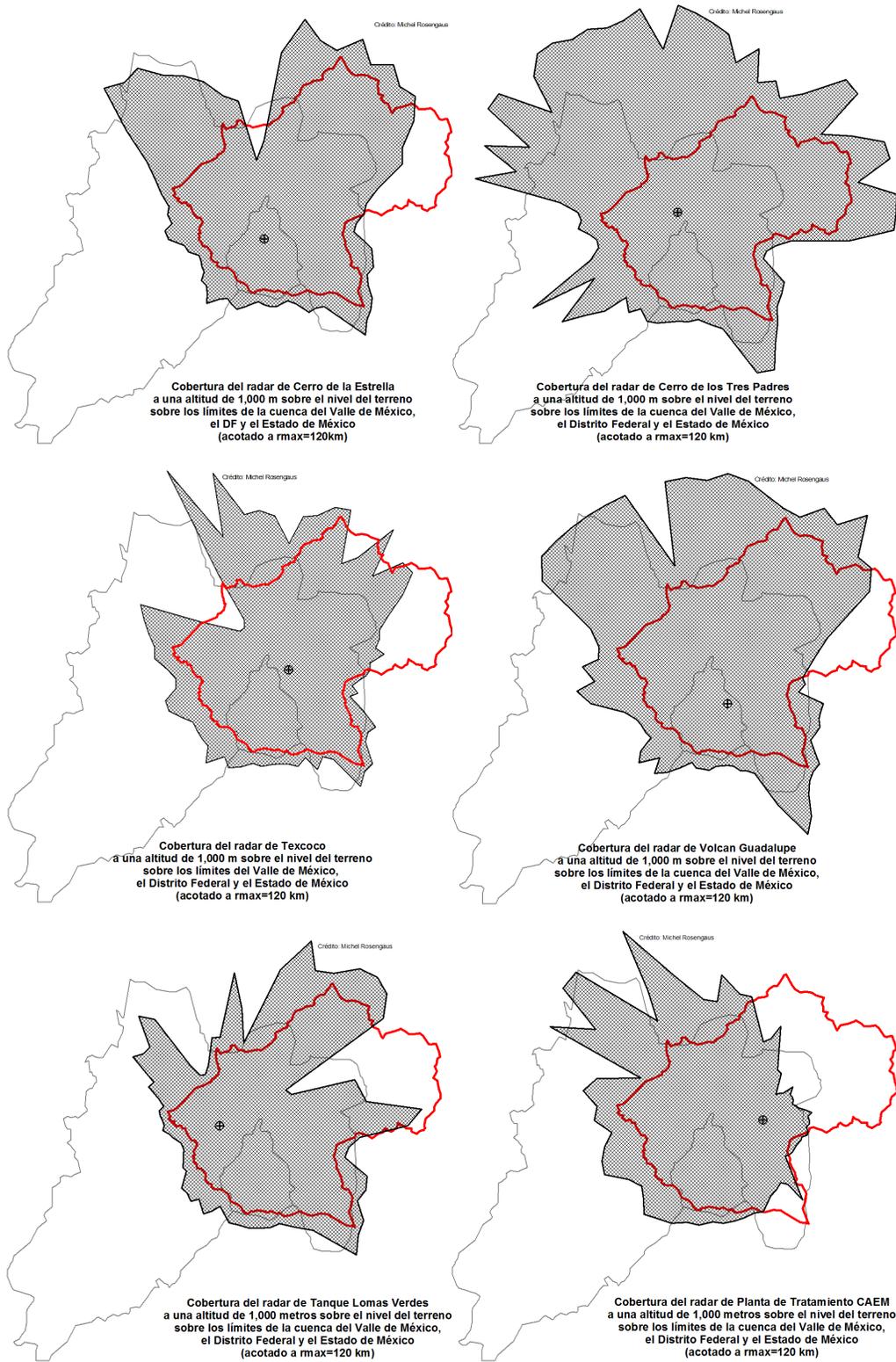


Figura 6. Comparación de diagramas de cobertura para CAPPI altura constante sobre el nivel del terreno para las 6 ubicaciones (mismo orden que figuras anteriores)



Conclusión

Los diagramas de cobertura para ángulos de elevación constante (0.0° y 0.5°), para altitudes atmosféricas constantes (3000 y 4000 msnm) y para altura constante sobre el nivel local del terreno (1000 m), permiten comparar objetivamente los pros y contras de las seis ubicaciones seleccionadas. Por supuesto, la cobertura no es el único criterio de selección. Muchos otros entran en la decisión, por ejemplo: fuente de financiamiento, presupuesto disponible, impacto ambiental, propiedad del terreno, caminos de acceso, disponibilidad de electricidad y telecomunicaciones, ventana de oportunidad para finalizar el proyecto, zonas de especial interés social o político, facilidad y rapidez de acceso en una zona urbana, posibles conflictos por percepción de daños a la salud, cercanía de las edificaciones actuales (y la posibilidad de las futuras), etc., etc.

Cinco de las seis ubicaciones resultan tener una cobertura satisfactoria para altitudes atmosféricas de 4000 msnm, unos 1760 m por arriba del fondo del Valle (la excepción es Planta de Tratamiento CAEM). La ubicación de Cerro de los Tres Padres tiene la mejor cobertura bajo todos los criterios, pero sufre parcialmente de los mismos problemas que el radar existente en el Cerro de la Catedral. Sorpresivamente, la única ubicación sobre el fondo del Valle, Texcoco, resulta tener una cobertura razonable de las zonas densamente urbanizadas, además de estar lejos de la urbanización densa y en terrenos accesibles al Gobierno Federal. Las dos ubicaciones de CAEM (Tanque Lomas Verdes y Planta de Tratamiento) parecen presentar las menores ventajas sin tener nada que claramente las compense bajo otros criterios.

Créditos

Este trabajo se realizó mientras se fungía como Asesor del Servicio Meteorológico Nacional bajo contrato por honorarios con INFOTEC. De acuerdo a la normatividad vigente, los resultados son propiedad intelectual del propio Servicio Meteorológico Nacional de la Comisión Nacional del Agua, que – amablemente - ha permitido presentarlos a la comunidad meteorológica en el presente Congreso.

Bibliografía

Rosengaus, M., *AUTOTOPO, un sistema para la obtención automática de perfiles orográficos*, Informe Técnico 5, GHyFHE, IMTA, Jiutepec, Morelos, oct 1992.

Rosengaus, M., *COBRADAR, un sistema para el cálculo de cobertura real de radares meteorológicos*, Informe Técnico 4, GHyFHE, IMTA, Jiutepec, Morelos, ago 1992.

Rosengaus, M., *Extensiones al sistema COBRADAR: cobertura de radares meteorológicos a altura constante sobre el terreno*, Informe Técnico 9, GHyFHE, IMTA, abr 1993.

Rosengaus, M., *Manejo de emergencias hidrometeorológicas en la Ciudad de México*, una propuesta, Memorias del Simposio Internacional de Riesgos Geológicos y Ambientales en la Ciudad de México, México, D.F., 16-20 oct 2000.