

Figura 4. Solución óptima en zona específica

4.2 Segunda instancia

Se evalúa una segunda instancia para ver el comportamiento del modelo, tomando los mismos puntos, pero ahora especificando una diferente zona de ubicación para el punto óptimo. Los límites de zona ahora se localizan al Oeste del punto de referencia, los cuales se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Límites de zona para segunda instancia

	Latitud [°]	Longitud [°]	Latitud [Rad]	Longitud [Rad]
Medford	42.3436931	-122.9141653	0.739036862	-2.145256882
Fields	42.2633428	-118.6836101	0.737634485	-2.071419764
Warden	47.0587582	-118.9524712	0.821330272	-2.076112276
Olympia	47.0394291	-122.9639087	0.820992916	-2.146125068

Los límites quedan determinados en coordenadas geográficas como $0.7390 \leq \phi \leq 0.8209$ y $-2.1452 \leq \phi \leq -2.0714$.

En esta instancia se obtiene una función objetivo de 79728691.1 metros. Si bien se nota que este valor es mayor a la primera instancia, no olvidemos que el objetivo es ubicar en un lugar que cumpla ciertas exigencias de territorio, ecológicas o bien de libre acceso, por tal motivo no se desprecia la solución dada. Es muy importante notar que nuevamente la solución óptima $P^* = (0.8209, -2.0714)$ (en grados 47.0394, -118.6836) cae dentro de los límites dados y para ser más específicos casi en uno de los límites (Warden), como se muestra en la Figura 5.

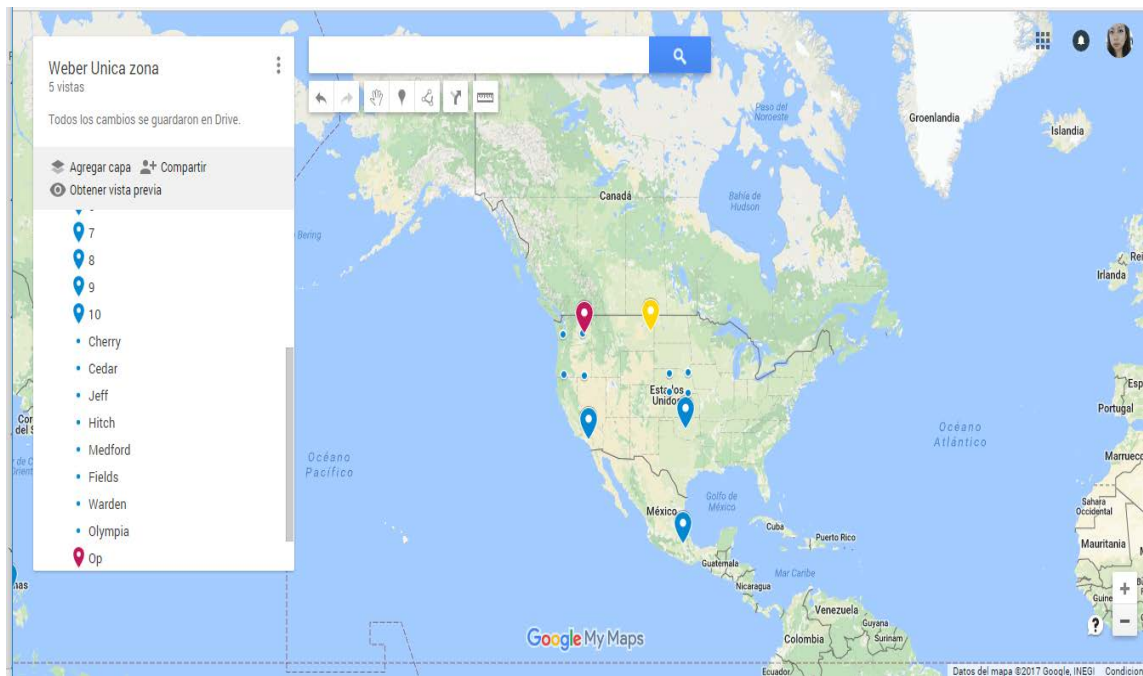


Figura 5. Solución óptima en zona específica para la segunda instancia

5. Conclusiones

La selección de un lugar geográfico entre varios para la ubicación de instalaciones, tiene un gran impacto dentro de cualquier organización, pues no solo son cuestiones de costos, tiempos de respuesta, rentabilidad, sino que también, se deben considerar factores ecológicos, zonas restringidas, desplazamientos o bien regiones de barrera.

Aplicando el modelo de Weber sobre la esfera con las restricciones de ubicación geográfica, se logra localizar instalaciones dentro de los límites especificados, considerando como referencia un punto propuesto o bien la solución óptima dada por el modelo de Weber sin restricciones.

Al aplicar el modelo de Weber con la restricción de zonas específicas, se observó que los nuevos puntos óptimos se localizan en la frontera de la zona determinada y siendo más concretos muy cerca de una de las esquinas del área determinada.

El trabajo a futuro será enfocado en modelar matemáticamente las zonas determinadas con diferentes características de forma.

Referencias

- [1] Church, R.L., y ReVelle, C.S., Theoretical and computational links between the p -median location set-covering and the maximal covering location problem, *Geographical Analysis*, no. 8, pp. 406-415, 1976.
- [2] Weber, A., *Über den Standort der Industrien (Alfred Weber's Theory of the Location of Industries)*, University of Chicago, 1929.
- [3] Bischoff, M., y Klamroth, K., An efficient solution method for Weber problems with barriers based on genetic algorithms, *European Journal of Operational Research*, no. 177, pp. 22-41, 2007.
- [4] Hamacher, H.W., y Nickel, S., Restricted planar location problems and applications, *Naval Research Logistics*, no. 42, pp. 967-992, 1995.
- [5] Martino, L., Said, S., y Gábor, N., Region-Rejection Based Heuristics for the Capacitated Multi-Source Weber Problem, *Working Paper*, No.181, 2008.

- [6] Mehdi, A., Reza, Z., y Walid, K., A rectilinear distance location–relocation problem with a probabilistic restriction: Mathematical modelling and solution approaches, *International Journal of Production Research*, 2015.
- [7] Cazabal, L., Caballero, S.O., y Martínez, J.L., Logistic Model for the Facility Location Problem on Ellipsoids, *International Journal of Engineering Business Management*, 2016.

Biografía

Lucía Cazabal Valencia actualmente estudia el Doctorado en Logística y Dirección de la Cadena de Suministros en la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla. Es Maestra en Ciencias con especialidad en Logística y Dirección de la Cadena de Suministros y Licenciada en Matemáticas Aplicadas. Se desempeña laboralmente como catedrática a nivel ingeniería en las áreas de Matemática e Investigación de Operaciones en la Universidad Tecmilenio Campus Puebla. Sus intereses de investigación están enfocados principalmente a la modelación matemática y evaluación de soluciones a través de software especializado.

Santiago Omar Caballero Morales actualmente es profesor investigador de tiempo completo en el Departamento de Posgrado en Logística y Dirección de la Cadena de Suministro en la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla. Es Doctor en Ciencias Computacionales con Especialidad en Reconocimiento de Imágenes y Voz, Maestro en Ciencias con Especialidad en Ingeniería Industrial y Licenciado en Ingeniería Electrónica y Comunicaciones. Sus intereses de investigación están enfocados principalmente al diseño de meta-heurísticos y técnicas de inteligencia artificial para optimización de problemas multidisciplinarios en ingeniería. Ha sido miembro activo del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) desde 2011.

José-Luís Martínez-Flores es profesor investigador de tiempo completo y coordinador del Departamento de Posgrado en Logística y Dirección de la Cadena de Suministro en la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla A.C. Es Licenciado en Matemáticas, Maestro en Ciencias con especialidad en Administración, y Doctor en Ingeniería. Ha publicado artículos en revistas y congresos internacionales en el campo de Diseño de Redes de Cadenas de Suministro, Modelado Matemático, y Sistemas de Información Logísticos. Es consultor líder para empresas nacionales e internacionales en México y es miembro activo de la Asociación Mexicana de Logística y Cadena de Suministro, la Sociedad Mexicana de Investigación de Operaciones, la Sociedad de Matemáticas Aplicadas, y la American Mathematical Society. También es miembro activo del Sistema Nacional de Investigadores (SNI).