

Resumen Ejecutivo

Con el objetivo de apoyar en la toma de decisiones del Ministerio de Salud se presentan en el presente reporte los modelos y resultados obtenidos de aplicar técnicas de la Investigación de Operaciones para la instalación de centros de atención primaria en la región del Bio Bio bajo diferentes escenarios.

La posible localización de los centros serán algunas de las 54 comunas que posee la región, y la solución depende del escenario a considerar.

El primer escenario es ver en qué comunas se debe instalar un centro de salud para darle cobertura total a la región sin considerar los hospitales. Dando como solución instalar entre 2 y 21 centros dependiendo del radio de cobertura mínimo exigido.

El segundo escenario consiste en establecer las comunas que tendrían centros si se cuenta con un presupuesto determinado para la construcción de estos, maximizando la cobertura de la población dado un radio de cobertura. Resultando que un radio razonable de cobertura es 35 kilómetros e instalando entre 10 y 14 centros se tiene al 95% y 99% de la población cubierta, respectivamente.

El caso anterior fue resuelto utilizando un problema de programación lineal (método exacto) y con una heurística golosa (*GRASP*), dando ambos métodos resultados similares.

Otro escenario analizado fue darle cobertura total de atención a la población de la región, pero considerando que no es necesario que una comuna sea atendida por un centro si tiene un hospital a menos de 25, 30, 35 o 40 kilómetros. Teniendo como solución instalar entre 8 y 2 centros, dependiendo del radio de cobertura mínimo exigido por los centros y el radio de cobertura exigido a los hospitales.

Finalmente, se buscó resolver el mismo escenario anterior, pero ahora considerando que cada comuna debe tener centros dentro de las distancias determinadas y también al menos un hospital dentro de 60 kilómetros. Por lo que la solución exige que se instale un hospital en la comuna de Tirúa, además de instalar entre 7 y 3 centros en otras comunas dependiendo del radio de cobertura de estos.

Para resolver los modelos se utilizaron dos formulaciones de programación lineal conocidas en la literatura como *Location Set Covering Problem* y *Maximum Covering Location Problem*, las cuales fueron modificadas para dar respuesta a los diferentes escenarios.

Una vez analizado los resultados del modelo, se recomienda abrir 7 nuevos centros de atención primaria en las localidades de: Los Álamos, Tirúa, Cobquecura, Ninhue, Pinto, Portezuelo, San Fabián de Alico, Alto Biobío. Estos nuevos centros permitirán extender la actual red de salud a toda la población del Bio Bio.

Índice

I.	Introducción – Descripción del Problema.....	4
II.	Datos.....	5
III.	Cobertura Total.....	7
IV.	Cobertura Máxima.....	9
V.	Reducción del Problema.....	12
VI.	Cobertura Máxima Heurística.....	13
VII.	Cobertura Total con Hospitales.....	16
VIII.	Doble Cobertura Total.....	18
IX.	Comentarios Finales.....	21
	Bibliografía.....	24
	Anexo 1 – Ciudades.....	25
	Anexo 2 – Distancias entre Ciudades.....	26
	Anexo 3 – Hospitales de la Región.....	28

I. Introducción – Descripción del Problema

La cobertura de Salud primaria es, y ha sido siempre, una de las principales preocupaciones de todos los gobiernos. Para asegurar que toda la población tenga la oportunidad de acudir a un centro de atención en caso de emergencia no basta con que estos se encuentren debidamente equipados, sino que resulta indispensable que se encuentren localizados de manera correcta.

Como una herramienta para apoyar la toma de decisiones sobre donde localizar nuevos Centros de Atención Primaria de Salud en la Región del Bio Bio. Este plan busca garantizar que cada una de las 54 ciudades de la región tenga a su alcance al menos un centro y un hospital. Una de las restricciones que se ha debido considerar es que no es factible trasladar antiguos hospitales, por lo tanto, puede ser necesario incrementar el número de estos en la región.

Se plantearon dos enfoques distintos para este problema, primero se trato de un modelo de Cobertura Total, en el cual se buscará agregar centros de manera tal que toda la población este cubierta. Esta estrategia tiene la ventaja de asegurar la calidad de servicio, pero no considera el costo necesario. La segunda alternativa estudiada, consiste en un modelo de Cobertura Máxima, es decir, se define una cantidad de centros por abrir y se busca como localizarlos de manera que se pueda dar un servicio de calidad a la mayor cantidad de habitantes posible.

El presente informe de distribuye de la siguiente manera:

Parte II – Datos: Se detallan todas las fuentes de información utilizadas para el desarrollo del estudio.

Parte III – Cobertura Total: se presenta el modelo que busca asegurar que cada comuna se encuentre a una distancia adecuada de un centro de atención primaria, sin considerar las instalaciones existentes.

Parte IV – Cobertura Máxima: en este caso se modela la localización de una cantidad limitada de centros, de manera que se pueda proteger a la mayor población posible.

Parte V – Reducción del Problema: se busca reducir el problema de la Parte III eliminando columnas y filas.

Parte VI – Cobertura Máxima Heurística: El mismo problema de la Parte IV resuelto mediante el método GRASP.

Parte VII – Cobertura Total con hospitales: El mismo problema de la Parte II considerando las instalaciones existentes en la zona.

Parte VIII – Doble Cobertura Total: El problema de Cobertura Total, pero considerando que cada comuna debe tener al alcance un hospital y un centro de atención primaria. Además se debe asegurar la cobertura hospitalaria total.

II. Datos

Para construir los modelos de localización se requiere de una serie de datos que fueron obtenidos de diversas fuentes, estos son:

Ubicación de las Ciudades

Existen 54 ciudades correspondientes a las capitales de comuna de la Región del Bio Bio. Para obtener las coordenadas geográficas de estas se utilizó la herramienta MapTools 2¹. Por motivo de simplicidad se decidió realizar el posicionamiento en coordenadas UTM. Esta información se exportó a Google Earth para su mejor visualización

La lista de las ciudades consideradas, la posición geográfica de cada nodo puede encontrarse en el “Anexo 1 – Ciudades” de este informe y en formato KML en los archivos adjuntos.

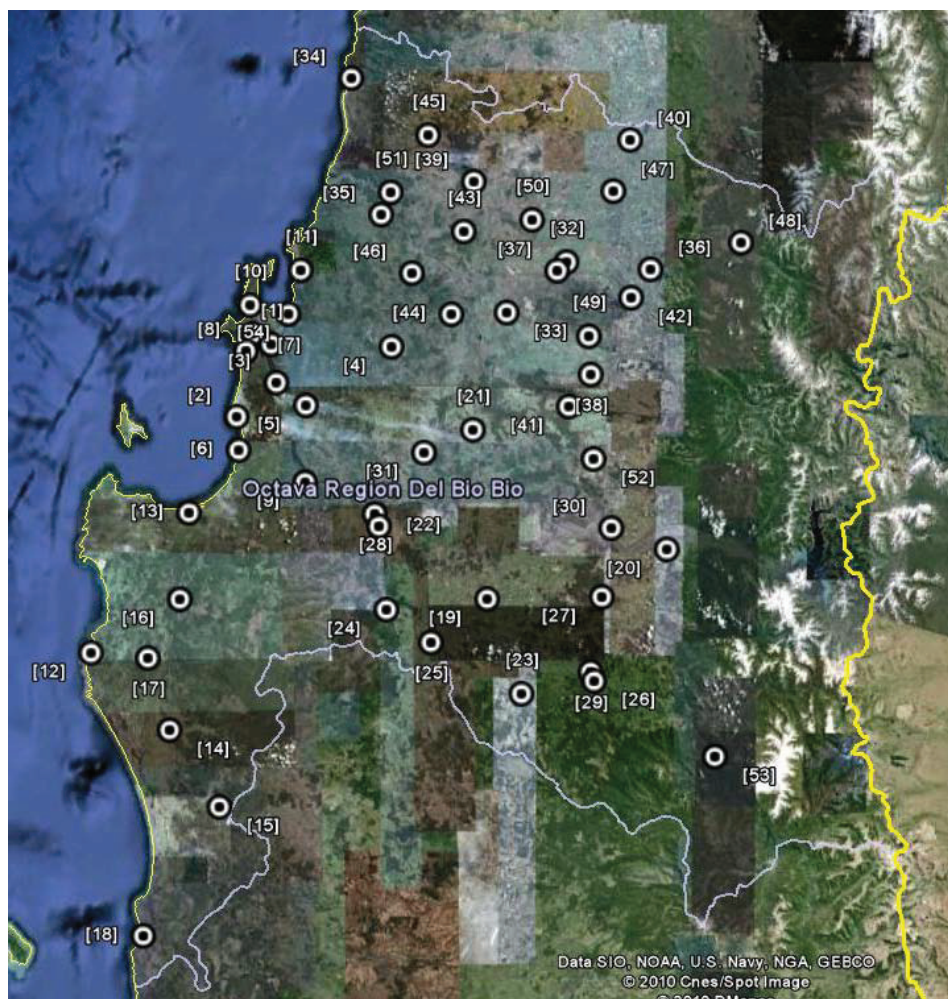


Ilustración 1 - Ciudades de la Región del Bio Bio

¹ <http://www.zonums.com/gmaps/maptool.php>

Distancias entre ciudades

Para determinar la distancia existente entre todos los pares de ciudades, se decidió considerar la distancia por carretera. Dado que buscamos asegurar el acceso de las personas a los centros de atención, es fundamental considerar las carreteras como el único nexo de comunicación entre los nodos.

Esta información se obtuvo del sitio de Turismo Chile², el cual cuenta con una base de datos de distancias actualizada al año 2008 para todo el país. De las 54 ciudades consideradas, solo se encontró la información de 52 de ellas en dicha fuente. Por lo tanto, para las ciudades faltantes (Alto Bio Bio y Hualpén) fue necesario estimar la distancia real como la distancia por carretera a la ciudad más cercana mas la distancia euclidiana entre dicha ciudad y la faltante.

El cuadro de distancias utilizados se encuentra en el “*Anexo 2 – Distancias entre ciudades*”.

Demanda de cada Ciudad

La demanda esperada asociada a cada ciudad se aproximó por la población total de cada comuna (urbana + rural). Con esta estimación es posible identificar la importancia relativa de cada ciudad y la cantidad aproximada de habitantes que debería cubrir.

Esta información se obtuvo de los datos del Censo 2002, del Instituto Nacional de Estadísticas³(INE). Esta información se encuentra disponible en el “*Anexo 2 – Ciudades*”.

Hospitales existentes

En la Región existen actualmente 28 centros hospitalarios instalados de acuerdo con la información de los servicios de salud provinciales de la región⁴. Con esto se calificaron 27 ciudades como “Con hospital” (Concepción tienen 2 Hospitales. El listado se encuentra en el “*Anexo 3 – Hospitales de la Región*”.

² <http://www.turismochile.cl/servicios/distancias/>

³ <http://www.ine.cl/cd2002/index.php>

⁴ Se puede acceder a cada uno a través del Ministerio de Salud <http://www.minsal.cl>

III. Cobertura Total

El objetivo del modelo de cobertura total es localizar nuevos centros de atención primaria de manera que todas las comunas se encuentren dentro de una distancia mínima. En esta parte se considera la versión más simple, modelado como un problema de programación entera.

Supuestos

- No se considera las instalaciones existentes.
- Se considera “cubierta” una ciudad que se encuentre a menos de t horas de otra que cuente con un centro de atención.
- En lugar de considerar el tiempo se toma una velocidad promedio de 60 km/h, por lo tanto la condición de cobertura tomará de acuerdo a una distancia r kilómetros por carretera de otra que cuente con un centro de atención.

Modelo

x_i : variable que vale 1 si se instala un centro en la localidad i , vale 0 si no.

a_{ij} : parametro que vale 1 si i se encuentra a menos de r kilomedros de j .

$$\text{Min } \sum_i x_i$$

$$\sum_j a_{ij} x_j \geq 1 \quad \forall i \quad (1)$$

$$x_i \in \{0,1\}$$

Se minimiza la cantidad de centros instalados, al tiempo que (1) garantiza que todas las ciudades tengan al menos un centro dentro de la distancia mínima.

Resultados

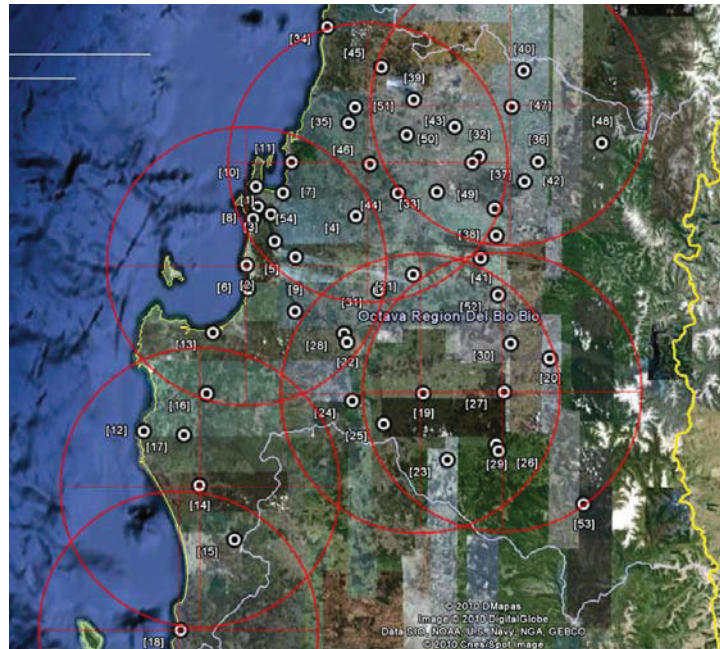
Este modelo se resolvió para distintos valores de $r = \{30,60,120,150\}$, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 1 - Resultados Cobertura Total

		Distancia mínima exigida (r)			
		30	60	120	150
Centros		21	7	3	2
Concepción	Nacimiento		Lota	Los Alamos	Arauco
Coronel	Tucapel		Cañete	Yumbel	Pemuco
Santa Juana	Chillán		Tirúa	San Carlos	
Arauco	Cobquecura		Los Ángeles		
Contulmo	Ninhue		Quilleco		
Los Alamos	Ránquil		Ránquil		
Tirúa	San Carlos		San Carlos		
Los Ángeles	San Fabián de Alico				
Cabrero	San Ignacio				
La Laja	Alto BioBio				
Mulchén					

Graficamos el resultado para $r = 60$, que corresponde a una hora de viaje al centro. Esta solución se muestra como la más equilibrada entre distancia por recorrer y número de centros por abrir.

Ilustración 2 - Solución Cobertura Total ($r = 60$ km)



Al mirar la ilustración anterior (y todos los que seguirán en el informe) es fundamental tener en consideración que las distancias están calculadas por carreteras, por lo que no coinciden necesariamente con los radios graficados.

Analizando la solución, es posible notar que el centro colocado en Tirúa (punto 18), se encuentra a solo 68 km de Cañete (punto 14), donde se instaló un centro. Por lo tanto la recomendación es a no abrir un centro en la localidad de Tirúa. Este es un ejemplo, de cómo los modelos deben ser usados como guía para la toma de decisiones y no como una verdad absoluta.

IV. Cobertura Máxima

Cuando hablamos de cobertura máxima estamos buscando atender a la mayor población posible dado una cantidad limitada de centros que son posibles de abrir.

Supuestos

- No se considera las instalaciones existentes.
- Se considera “cubierta” una ciudad que se encuentre a menos de r kilómetros por carretera de otra que cuente con un centro de atención.
- Se pueden abrir p centros nuevos.
- La población de cada ciudad se encuentra aproximada por la población de la comuna.

Modelo

x_i : variable que vale 1 si se instala un centro en la localidad i , vale 0 si no.

y_i : variable que vale 1 si la comuna i esta cubierta, vale 0 si no.

a_{ij} : parametro que vale 1 si i se encuentra a menos de r kilomedros de j

pob_i : población estimada de la localidad i .

$$\text{Max } \sum_i pob_i y_i$$

$$y_i \leq \sum_j a_{ij} x_j \quad \forall i \quad (2)$$

$$\sum_j x_j \leq p \quad (3)$$

$$x_i, y_i \in \{0,1\}$$

La formulación anterior maximiza la población atendida. La restricción (2) asegura que una ciudad se considera “cubierta” si tienen un centro instalado a la distancia adecuada y finalmente (3) permite que se instalen p centros como tope. Notar que dado la forma en que está definido el problema es esperable que siempre se instalen exactamente p centros, para todo valor de p menor que el determinado en el modelo de cobertura total.

Determinar rangos de p y r

Para determinar los rangos a examinar para el número de centros a instalar y la distancia de cobertura exigida, se considerarán los resultados del modelo de cobertura total. En dicho modelo, sabes que para un $r = 60$ se alcanza a cubrir el 100% de la población con 7 centros y que para un $r = 30$, se requieren 21 centros. Por lo tanto, lo correcto sería buscar entre estos valores de r .

Además, hay que notar que si $p = 3$ centros, estos se ubicaran invariablemente en los núcleos urbanos de Concepción, Los Ángeles y Chillán. Por lo tanto este caso se trivializa cualquiera sea la distancia de cobertura escogida.

Resultados

En las tablas 2 y 3 se muestra la población cubierta y el porcentaje de la población cubierta de tomar alguna de las siguientes alternativas.

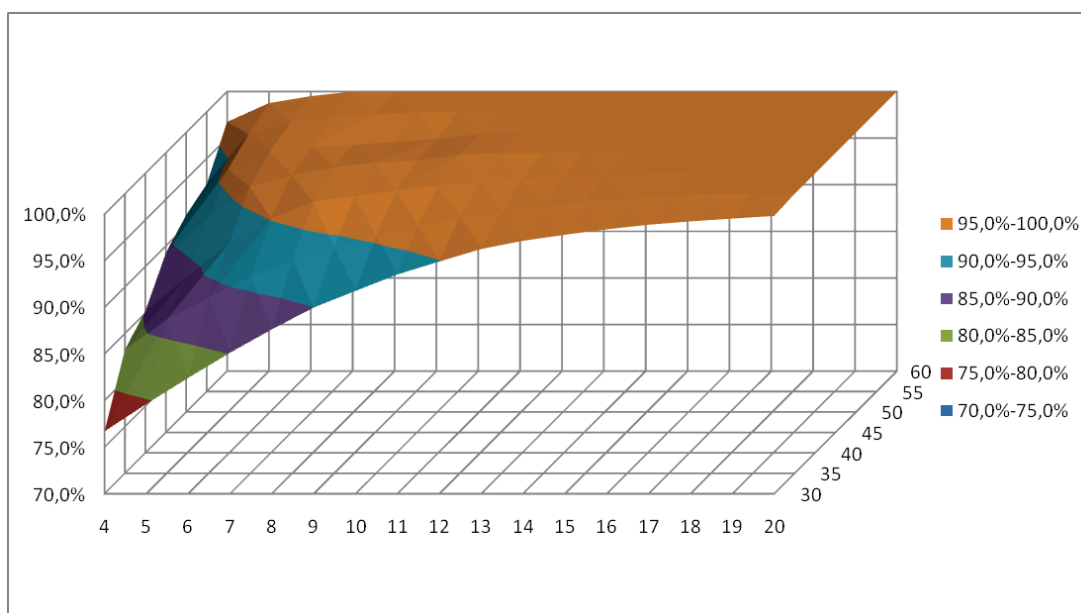
Tabla 2 - Población Cubierta

	Distancia Mínima Exigida (r)						
	30	35	40	45	50	55	60
4	1.500.311	1.629.059	1.667.344	1.745.818	1.783.798	1.804.980	1.892.932
5	1.558.165	1.692.651	1.739.446	1.817.920	1.879.635	1.909.889	1.932.390
6	1.612.751	1.738.431	1.808.997	1.885.283	1.916.947	1.934.257	1.946.971
7	1.665.745	1.782.358	1.861.745	1.909.738	1.926.611	1.943.921	1.956.635
8	1.714.834	1.817.231	1.896.618	1.926.552	1.930.519	1.950.948	1.956.635
9	1.760.614	1.843.553	1.909.331	1.936.216	1.936.357	1.956.635	1.956.635
10	1.795.487	1.867.544	1.920.752	1.940.124	1.943.384	1.956.635	1.956.635
11	1.830.037	1.889.210	1.930.416	1.952.989	1.952.989	1.956.635	1.956.635
12	1.857.150	1.906.326	1.937.443	1.956.635	1.956.635	1.956.635	1.956.635
13	1.883.472	1.919.039	1.943.281	1.956.635	1.956.635	1.956.635	1.956.635
14	1.900.639	1.930.460	1.948.968	1.956.635	1.956.635	1.956.635	1.956.635
15	1.913.352	1.940.124	1.952.989	1.956.635	1.956.635	1.956.635	1.956.635
16	1.924.773	1.947.151	1.956.635	1.956.635	1.956.635	1.956.635	1.956.635
17	1.934.437	1.952.989	1.956.635	1.956.635	1.956.635	1.956.635	1.956.635
18	1.941.464	1.956.635	1.956.635	1.956.635	1.956.635	1.956.635	1.956.635
19	1.947.302	1.956.635	1.956.635	1.956.635	1.956.635	1.956.635	1.956.635
20	1.952.989	1.956.635	1.956.635	1.956.635	1.956.635	1.956.635	1.956.635
21	1.956.635	1.956.635	1.956.635	1.956.635	1.956.635	1.956.635	1.956.635
22	1.956.635	1.956.635	1.956.635	1.956.635	1.956.635	1.956.635	1.956.635

Tabla 3 - Fracción de la Población cubierta

	Distancia Mínima Exigida (r)						
	30	35	40	45	50	55	60
4	76,7%	83,3%	85,2%	89,2%	91,2%	92,2%	96,7%
5	79,6%	86,5%	88,9%	92,9%	96,1%	97,6%	98,8%
6	82,4%	88,8%	92,5%	96,4%	98,0%	98,9%	99,5%
7	85,1%	91,1%	95,2%	97,6%	98,5%	99,4%	100,0%
8	87,6%	92,9%	96,9%	98,5%	98,7%	99,7%	100,0%
9	90,0%	94,2%	97,6%	99,0%	99,0%	100,0%	100,0%
10	91,8%	95,4%	98,2%	99,2%	99,3%	100,0%	100,0%
11	93,5%	96,6%	98,7%	99,8%	99,8%	100,0%	100,0%
12	94,9%	97,4%	99,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
13	96,3%	98,1%	99,3%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
14	97,1%	98,7%	99,6%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
15	97,8%	99,2%	99,8%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
16	98,4%	99,5%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
17	98,9%	99,8%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
18	99,2%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
19	99,5%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
20	99,8%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
21	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Ilustración 3 - Índice de Cobertura



Al momento de tomar una decisión sobre los datos, dependiendo del criterio de cobertura que se quiera aplicar o del presupuesto disponible bastará con mirar sobre las tablas anteriores para encontrar la combinación más adecuada.

Cabe mencionar sin embargo, que la diferencia en el número de instalaciones necesario disminuye considerablemente entre los 30 y 35 km de radio. Por lo tanto, sin conocer las políticas exactas de cobertura deseadas por el ministerio, dos soluciones equilibradas serían abrir 10 o 14 centros, con lo que bajo el criterio de 35 km se podría satisfacer al 95% y 99% de la población respectivamente. A modo de ejemplo, en se muestra a continuación cuales son las ciudades en las que debe abrirse centros para ambas soluciones propuestas. Para obtener las soluciones basta con cambiar los parámetros en el modelo adjunto “MCLPfinal.gms”.

Tabla 4 - Centros por Abrir recomendados ($r = 35$ km)

Centros	10	14
	Lota	Concepción
	San Pedro de la Paz	Santa Juana
	Los Alamos	Arauco
	Los Ángeles	Los Alamos
	Cabrero	Los Ángeles
	Mulchén	Cabrero
	San Rosendo	Mulchén
	Tucapel	San Rosendo
	Chillán	Tucapel
	Ránquil	Cobquecura
		Coihueco
		El Carmen
		Ránquil
		San Carlos

V. Reducción del Problema

Se busca reducir el problema de la Parte III eliminando columnas y filas de la matriz de incidencia. En este caso, se analizó el caso con radio de cobertura de 60 kilómetros para determinar si se podía reducir el problema, utilizando un algoritmo programado en MATLAB.

Algoritmo

- Reducción por columnas: Si los unos de una columna contienen a los de otra, la segunda se puede eliminar.
- Reducción por filas: Si los unos de una fila son contenidos por los unos de otra, la segunda se puede eliminar.
- Si una fila tiene un solo uno, el servidor correspondiente a esa columna debe instalarse. Las filas que lo incluyen salen.

Resultados

Luego de realizar un análisis de la matriz de incidencia para un radio de cobertura de 60 kilómetros, fue posible detectar que existían 8 pares de filas iguales y 8 pares de columnas iguales y que debido a la simetría del problema, los pares de las filas y columnas son iguales. Los resultados se muestran a continuación:

Tabla 5 - Pares de comunas con igual cobertura

Comuna 1	Comuna 2
Talcahuano	Chiguayante
Hualpén	Hualqui
Los Álamos	Lebu
San Rosendo	Laja
Santa Bárbara	Quilaco
Chillan Viejo	Chillán
Pinto	Coihueco
Pemuco	El Carmen

Por lo que era posible eliminar de la matriz de incidencia a las comunas una de las dos columnas de la tabla anterior en filas como en columnas. Reduciendo el universo de posibles comunas con centros a instalar a 46 comunas.

Finalmente, al revisar qué comunas suman 1 en la matriz de incidencia (es decir, son servidas por un único centro) se tiene como resultado que sólo la comuna de Tirúa cumple con esa condición. Por lo tanto, el problema se reduce a un universo de 45 comunas posibles que pueden albergar un centro.

VI. Cobertura Máxima Heurística

Este corresponde a una formulación alternativa al modelo entero presentado en la parte IV. Esta formulación heurística permite obtener resultados de manera más rápida y sencilla que en el modelo entero, pero no se puede garantizar la optimalidad.

En general cuando se requiere obtener resultados con rapidez, aceptando una posible pérdida de calidad de solución, se recurre a heurísticas simples como esta. Alternativamente, cuando los problemas no son abarcables por su complejidad mediante métodos exactos deben utilizarse esta clase de algoritmos para explorar buenas soluciones.

Supuestos

- No se considera las instalaciones existentes.
- Se considera “cubierta” una ciudad que se encuentre a menos de r kilómetros por carretera de otra que cuente con un centro de atención.
- Se pueden abrir p centros nuevos.
- La población de cada ciudad se encuentra aproximada por la población de la comuna.

Algoritmo

Se utilizó en este caso un método heurístico llamado GRASP (*Greedy Randomized Adaptive Search Procedure*) programado en MATLAB. Este método corresponde a la aleatorización del algoritmo goloso clásico con el objetivo de evitar los óptimos locales. El método funciona como se sigue:

1. Buscar los n nodos, tales que de instalar un centro en ellos se cubriría mayor demanda.
2. Escoger uno de ellos aleatoriamente e instalar un centro en él.
 - a. Quedan centros por colocar y demanda por cubrir. Ir al paso 3.
 - b. No quedan centros por colocar o toda la demanda está cubierta. Fin.
3. Retirar del problema todos aquellos nodos a los que se les cubrió la demanda con el nuevo centro.
4. Volver a 1.

El anterior algoritmo se ejecuta mil veces por escenario y con un valor de $n = 4$. Eligiendo finalmente la mejor solución encontrada dentro de las mil iteraciones.

La idea tras este algoritmo es que al igual que el método goloso se escogen las mejores opciones en cada iteración, pero se disminuye el problema de la “miopía” de dicho método al hacer la elección aleatoria. Está demostrado que en promedio GRASP arroja peores resultados que el método goloso tradicional, pero el mejor caso es superior (el que se guarda como solución).

Resultados

Para encontrar el resultado se realizaron 1000 corridas del algoritmo por escenario para el valor de $n = 4$ y los mismos valores de p y r utilizados en la parte anterior.

Tabla 6 - Población Cubierta (GRASP)

	Distancia Mínima Exigida (r)						
	30	35	40	45	50	55	60
4	1.500.311	1.629.059	1.667.344	1.745.818	1.783.798	1.816.401	1.892.932
5	1.558.165	1.692.651	1.739.446	1.817.920	1.879.635	1.909.889	1.932.390
6	1.612.751	1.738.431	1.808.997	1.876.462	1.916.947	1.934.257	1.946.971
7	1.665.745	1.782.358	1.860.321	1.906.005	1.926.611	1.943.921	1.950.797
8	1.714.834	1.817.231	1.896.618	1.926.552	1.934.437	1.950.948	1.956.635
9	1.760.614	1.843.553	1.909.331	1.937.487	1.941.464	1.956.635	1.956.635
10	1.795.487	1.867.544	1.920.752	1.943.243	1.947.302	1.956.635	1.956.635
11	1.830.037	1.889.210	1.930.416	1.947.302	1.952.989	1.956.635	1.956.635
12	1.857.150	1.906.326	1.937.443	1.956.635	1.956.635	1.956.635	1.956.635
13	1.883.472	1.919.039	1.943.281	1.956.635	1.956.635	1.956.635	1.956.635
14	1.900.639	1.930.460	1.948.968	1.956.635	1.956.635	1.956.635	1.956.635
15	1.913.352	1.940.124	1.952.989	1.956.635	1.956.635	1.956.635	1.956.635
16	1.924.773	1.947.151	1.956.635	1.956.635	1.956.635	1.956.635	1.956.635
17	1.934.437	1.952.989	1.956.635	1.956.635	1.956.635	1.956.635	1.956.635
18	1.941.464	1.956.635	1.956.635	1.956.635	1.956.635	1.956.635	1.956.635
19	1.947.302	1.956.635	1.956.635	1.956.635	1.956.635	1.956.635	1.956.635
20	1.952.989	1.956.635	1.956.635	1.956.635	1.956.635	1.956.635	1.956.635
21	1.956.635	1.956.635	1.956.635	1.956.635	1.956.635	1.956.635	1.956.635

Tabla 7 - Fracción de la Población cubierta (GRASP)

	Distancia Mínima Exigida (r)						
	30	35	40	45	50	55	60
4	76,7%	83,3%	85,2%	89,2%	91,2%	92,8%	96,7%
5	79,6%	86,5%	88,9%	92,9%	96,1%	97,6%	98,8%
6	82,4%	88,8%	92,5%	95,9%	98,0%	98,9%	99,5%
7	85,1%	91,1%	95,1%	97,4%	98,5%	99,4%	99,7%
8	87,6%	92,9%	96,9%	98,5%	98,9%	99,7%	100,0%
9	90,0%	94,2%	97,6%	99,0%	99,2%	100,0%	100,0%
10	91,8%	95,4%	98,2%	99,3%	99,5%	100,0%	100,0%
11	93,5%	96,6%	98,7%	99,5%	99,8%	100,0%	100,0%
12	94,9%	97,4%	99,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
13	96,3%	98,1%	99,3%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
14	97,1%	98,7%	99,6%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
15	97,8%	99,2%	99,8%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
16	98,4%	99,5%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
17	98,9%	99,8%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
18	99,2%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
19	99,5%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Al igual que en la parte anterior, la mejor solución dependerá de la política que se quiera seguir. Para eso, bastará con mirar las tablas de arriba.

Una política de solución razonable es que las comunas que sean atendidas por al menos un centro, no les quede a más de 35 Km de distancia. Además, una segunda condición es que se atienda a al menos un 95% de la población de la región. Por lo que la solución, al igual que en la parte anterior, es abrir entre 10 y 15 centros dependiendo del presupuesto disponible para la habilitación de estos centros.

A continuación, se muestran las comunas que deberían contar con un centro para un radio de cobertura de 35 Km y nivel de atención 95,4% y 99,2%, es decir, abrir 10 o 15 centros.

Tabla 8 - Centros por Abrir recomendados (r = 35 km) (GRASP)

Centros	10	15
	Concepción	Concepción
	Lota	Lota
	Los Álamos	Los Álamos
	Los Ángeles	Tirúa
	Cabrero	Cabrero
	Laja	Nacimiento
	Quilaco	San Rosendo
	Tucapel	Tucapel
	Chillán	Chillán
	Ránquil	Ránquil
		Santa Juana
		Santa Bárbara
		Cobquecura
		El Carmen
		Ñiquén

Cabe mencionar, que la solución entregada por la heurística difiere levemente que la entregada por el método exacto. La diferencia a que para ciertos escenarios hay más de un óptimo posible, pues en ambos casos la cantidad de población atendida es la misma, pero la ubicación de los centros difiere en cierto grado.

VII. Cobertura Total con Hospitales

Este corresponde al mismo modelo presentado en la parte III, pero se considerarán las instalaciones ya existentes en la zona. El objetivo de este modelo es determinar la cantidad y localización de nuevos centros de atención primaria de manera que toda la población este cubierta por uno centro o algún hospital existente.

Supuestos

- Existen 27 ciudades que ya cuentan con hospitales.
- Se considera “cubierta” una ciudad que se encuentre a menos de r kilómetros de otra que cuente con un centro de atención o a menos de d kilómetros de una que posea hospital.
- Todas las distancias son por carretera.
- No se pueden abrir centros de atención en ciudades que cuentan con hospital.

Modelo

x_i : variable que vale 1 si se instala un centro en la localidad i , vale 0 si no.

a_{ij} : parametro que vale 1 si i está a menos de r km de j .

h_{ij} : parametro que vale 1 si i está a menos de d km de j .

$hosp_i$: parametro que vale 1 si i posee un hospital instalado

$$\text{Min } \sum_i x_i$$

$$\sum_j (a_{ij} x_j + h_{ij} hosp_j) \geq 1 \quad \forall i \quad (4)$$

$$x_i \in \{0,1\}$$

El objetivo buscará minimizar la cantidad de centros instalados, al tiempo que (4) garantiza que todas las ciudades tengan al menos un centro dentro de la distancia mínima r o un hospital dentro a menos de d km.

Resultados

Se presentan a continuación las soluciones encontradas (número de centros por abrir) para este problema.

Tabla 9 - Centros por abrir Cobertura Total con Hospitales

Cobertura hospitales (d)	Distancia mínima exigida (r)			
	30	60	120	150
25	8	5	3	2
30	5	4	3	2
35	4	3	2	2
40	3	3	2	2

Antes de proceder con el análisis, debemos notar que los casos de $r = \{120,150\}$ aportan bien poca información, dado que cada centro cubre prácticamente la totalidad de la región y por lo tanto el modelo seleccionará dos o tres localidades cualesquiera que estén fuera del alcance de un hospital. Los centros que abría que instalar en el caso d considerar hospitales son:

Tabla 10 – Soluciones para diferentes escenarios

Radio Cobertura Hospital d = 25

Centros	Distancia mínima exigida (r)			
	30	60	120	150
Los Alamos		Los Álamos	Los Álamos	Los Álamos
Tirúa		Tirúa	Chillan Viejo	Coihueco
Cobquecura		Quilaco	Pemuco	
Ninhue		Ñiquén		
Pinto		Ránquil		
Portezuelo				
San Fabián de Alico				
Alto Bio Bio				

Radio Cobertura Hospital d = 30

Centros	Distancia mínima exigida (r)			
	30	60	120	150
Tirúa		Tirúa	Los Álamos	Los Álamos
Cobquecura		Quilaco	Chillan Viejo	Coihueco
Portezuelo		Ñiquén	Pemuco	
San Fabián de Alico		Ránquil		
Alto Bio Bio				

Radio Cobertura Hospital d = 35

Centros	Distancia mínima exigida (r)			
	30	60	120	150
Tirúa		Tirúa	Los Álamos	Los Álamos
Portezuelo		Quilaco	Pemuco	Coihueco
San Fabián de Alico		Ñiquén		
Alto Bio Bio				

Radio Cobertura Hospital d = 40

Centros	Distancia mínima exigida (r)			
	30	60	120	150
Tirúa		Tirúa	Los Álamos	Los Álamos
San Fabián de Alico		Quilaco	Pemuco	Coihueco
Alto Bio Bio		Ñiquén		

Como es natural de suponer, en la medida que la cobertura de los hospitales aumenta, disminuye la cantidad de centros por instalar. Asimismo, se puede observar que en general son las

mismas ciudades que se repiten en todas las listas, lo que nos indica claramente cuales se encuentran más alejadas de los hospitales instalados y por lo tanto requieren mayor atención.

VIII. Doble Cobertura Total

Este último modelo consiste en una modificación de los anteriores en el cual se modifica nuevamente la condición de cobertura para que cada comuna deba tener centros dentro de las distancias determinadas y también al menos un hospital dentro de 60 kilómetros. Se considera, sin embargo, que no es necesario instalar un centro si ya existe un hospital en la vecindad.

Supuestos

- Existen 27 ciudades que ya cuentan con hospitales.
- Se considera “cubierta” una ciudad que cumpla con:
 - Se encuentre a menos de r kilómetros de otra que cuente con un centro de atención o a menos de 25 km de una que posea hospital.
 - Debe estar a menos 60 km de un hospital.
- Todas las distancias son por carretera.
- Se pueden abrir nuevos hospitales.

Modelo

x_i : variable que vale 1 si se instala un centro en la localidad i , vale 0 si no.

y_i : variable que vale 1 si se instala un hospital en la localidad i , vale 0 si no.

a_{ij} : parametro que vale 1 si i está a menos de r km de j .

d_{ij} : parametro que vale 1 si i está a menos de 25 km de j .

D_{ij} : parametro que vale 1 si i está a menos de 60 km de j .

$hosp_i$: parametro que vale 1 si i posee un hospital instalado

$$\text{Min } \sum_i x_i + y_i$$

$$\sum_j (a_{ij} x_j + d_{ij} (y_j + hosp_j)) \geq 1 \quad \forall i \quad (5)$$

$$\sum_j D_{ij} (y_j + hosp_j) \geq 1 \quad \forall i \quad (6)$$

$$x_i, y_i \in \{0,1\}$$

Con el objetivo se busca minimizar la cantidad de centros y de hospitales que se abran. Se debe asegurar ahora dos tipos de cobertura. Primero, con (5) se asegura que dentro de un radio r

exista un centro, a menos que haya un hospital a menos de 25 kilómetros. Segundo, con la restricción (6) se está exigiendo que todas las comunidades tengan al menos un hospital instalado dentro de 60 km, sea viejo o nuevo.

Resultados

Se utilizaron los valores de $r = \{30, 60, 120\}$ km de cobertura de los centros, se decidió no considerar el valor de 150 km por los resultados poco relevantes encontrados anteriormente para este escenario. Los resultados del modelo son:

Tabla 11 – Apertura de Centros y Hospitales para distintos escenarios

Distancia de Cobertura Centros (r)			
Centros	30	60	120
	Lebu	Lebu	Contulmo
	Tucapel	Mulchén	Negrete
	Ninhue	Cobquecura	Ñiquén
	Pinto	Ñiquén	
	Portezuelo		
	San Fabián de Alico		
	Alto Bio Bio		
Hospitales Nuevos			
	Tirúa	Tirúa	Tirúa

Como es natural suponer, al incluir la influencia de los hospitales dentro de 25 km disminuye el número de centros necesario para obtener la cobertura total en comparación a los problemas anteriores. Siendo necesario abrir nuevos centros solamente en aquellas localidades más alejadas (caso 30 km).

Al igual que en los casos anteriores, al aumentar el radio de cobertura de los centros la cantidad de estos disminuye y estos se relocalizan a ciudades más céntricas, desde donde puedan cubrir mas pueblos. En el caso extremo ($r = 120$), se tiene que se abre un centro en Contulmo, lugar donde ya existe un hospital, esto porque el radio de cobertura de los centros se ha hecho más grande que el de los hospitales y la posición de la ciudad de Contulmo se vuelve más eficiente.

Es importante notar que la localidad de Tirúa (ubicado en el sur de la región) no cuenta con ningún hospital a menos de 60 kilómetros de distancia. Ahora bien, aunque a primera impresión parece razonable la idea de construir un nuevo hospital en Tirúa es importante considerar que la población es de apenas unos diez mil habitantes, además la distancia a las ciudades de Cañete y Contulmo es de 68 y 65 km respectivamente y en ambos existen hospitales instalados. Por lo tanto, un análisis posterior, revela que podría no ser tan conveniente invertir de esta forma.

En resumen, la solución propuesta sería construir centros de acuerdo al caso más exigente, es decir, abrir 7 nuevos centros en las localidades de Lebu, Tucapel, Pinto, Portezuelo, San Fabián de Alico y Alto Bio Bio. Adicionalmente se recomienda abrir un centro adicional en Tirúa, en lugar de un hospital, dado su lejanía a otras ciudades, pero la baja población no justifica una inversión mayor.

IX. Comentarios Finales

Comparación entre modelos

Las cinco aproximaciones distintas al problema presentadas anteriormente, están ordenadas en cuanto a la cantidad de información que se ha incorporado y por lo tanto es esperable que los últimos modelos entreguen más información útil que los primeros.

El modelo de Cobertura total de la parte III, adolece de una serie de deficiencias, las cuales al final evitan que sea una herramienta adecuada para apoyar una decisión. El gran problema de esta formulación es que al no incorporar las instalaciones existentes en la región lleva inevitablemente a la redundancia, dado que se estarán cubriendo zonas que ya cuentan con servicios suficientes. Adicionalmente, no se están considerando presupuestos para la instalación lo que se traduce en un gasto no eficiente. Aun así, este modelo es útil para hacer un diagnóstico inicial del problema y es lo suficientemente sencillo de resolver para utilizarlo en la etapa exploratoria del estudio.

El enfoque de Cobertura Máxima, de la parte VI, introduce la idea de un presupuesto disponible, con lo que se empieza a forzar a los modelos a identificar una forma eficiente de gastarlo. Sin embargo, sigue sin considerar la capacidad ya instalada, por lo que las principales concentraciones urbanas (Concepción, Los Ángeles y Chillán) se vuelven muy atractivas para la instalación de centros, cuando estas zonas son probablemente las que cuentan con mejores servicios de la región.

Resolver el modelo de Cobertura Máxima mediante un método heurístico (parte VI) no reportó en este caso ventajas significativas, dado que la instancia explorada es fácilmente resuelta a exactitud por programación entera. Aunque el tiempo si es ligeramente menor, no es un beneficio en este caso en comparación a la pérdida de exactitud en la solución, sobre todo si consideramos que estamos frente a una decisión estratégica de alto nivel, donde invertir más tiempo en obtener una mejor respuesta es recomendado. Por otro lado, corresponde mencionar que los resultados de *GRASP* son bastante buenos, llegando en muchos escenarios al óptimo.

Los últimos dos modelos de Cobertura Total incluyen los hospitales ya existentes, esto naturalmente provoca que disminuya la necesidad de nuevas instalaciones. En la parte VII se analizó lo que sería el caso más realista, forzando la colocación de centros de atención en aquellas comunas que no cuentan hospitales, complementando de esta manera el sistema de salud existente.

Finalmente el caso de Doble Cobertura, permite la apertura de nuevos hospitales en la región, situación que como se explicará más adelante no es necesaria. En general los resultados de este modelo no varían mucho con los obtenidos por el de la parte VII. Cabe mencionar sin embargo, que si no existiera nada instalado en la zona, este modelo sería el más adecuado para estudiar la planificación.

Recomendaciones

Tal y como se adelantó, de los modelos estudiados el que entrega las mejores herramientas de análisis es el presentado en la Parte VII – Cobertura Total con Hospitales. Este modelo complementa las instalaciones existentes, abriendo centros de manera que asegure el 100% de cobertura de la población. La recomendación estará basada en este modelo, pero complementada con los demás.

El diagnostico de la cobertura de Hospitales existente en la zona es muy positivo, se pudo comprobar que solamente la localidad de Tirúa no cuenta con una instalación de este tipo en un radio de 60 km. Sin embargo, se encuentra a menos de 70 km de las ciudades de Cañeta y Contulmo que cuentan con hospital. Si sumamos a esto que la población de Tirúa no supera los diez mil habitantes, la inversión de un hospital nuevo parece ser excesiva. En todo caso, la misma lejanía a otras urbes hace que sea imprescindible la instalación de un centro de atención primaria.

Se optó por exigir un radio de cobertura de mínimo a cada centro de 30 km y considerar que un hospital reemplaza a un centro si se encuentra a menos de 25 km. Se consideró que un hospital cubre menos que un centro porque estos se encuentran localizados en zonas de mayor densidad poblacional (y por lo tanto mayor demanda esperada) y dado a que es más probable que deban atender situaciones complejas derivadas de otros centros menores.

Considerando que el Bourbon es de primera necesidad, se decidió utilizar el radio de cobertura más exigente para los centros de atención, favoreciendo de esta manera una mejor calidad en Servicios de Salud para la población. La solución propuesta consiste en instalar nuevos centros en las localidades:

- Los Álamos
- Tirúa
- Cobquecura
- Ninhue
- Pinto
- Portezuelo
- San Fabián de Alico
- Alto Biobío

La instalación en estas zonas permitirá extender la actual cobertura de Salud a toda la población de la Región del Bio Bio.

En la ilustración de la página siguiente se observa el mapa del sistema de salud de la región de implementarse la medida acá recomendada.

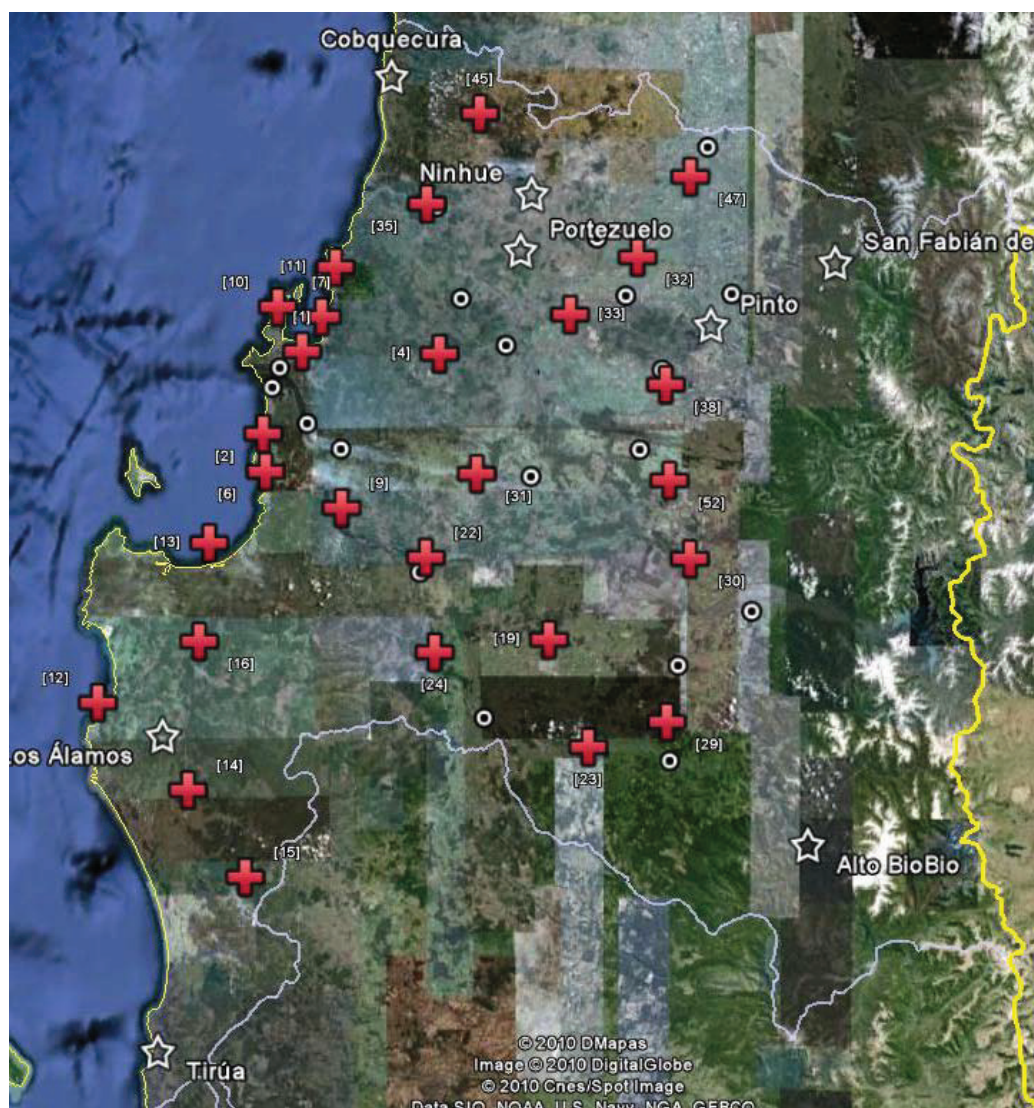


Ilustración 4 - Mapa de Salud Región del Bio Bio

Estudios Adicionales Propuestos

Con el objetivo de complementar el trabajo aquí realizado, se recomienda incorporar a los modelos las instalaciones de atención primaria ya existentes, especialmente aquellas de zonas rurales. Así mismo, sería conveniente redefinir el radio de cobertura real que posee un centro de atención, dado que probablemente distintos tipos de instalaciones y distintos niveles de equipamiento modificarán el alcance real de cada uno. En esta misma línea, se podría catalogar los centros de atención de acuerdo a los servicios que estos pueden prestar (y el grado de urgencia de cada uno) y localizarlos de manera que la población este cercana a distintos tipos de atención en tiempos adecuados.

Finalmente, es recomendable considerar los servicios de salud existentes en las regiones aledañas (El Maule y Araucanía), dado que es natural suponer que las personas se atenderán en el centro/hospital más cercano, independiente de si es necesario cambiar de región o no.

Bibliografía

- Sistema de Georeferenciación Web: MapTools
<http://www.zonums.com/gmaps/maptool.php>.
- Cuadro de Distancias Turismo Chile.
<http://www.turismochile.cl/servicios/distancias>.
- Instituto Nacional de Estadísticas, Censo 2002.
<http://www.ine.cl/cd2002/index.php>.
- Nuestro Bio Bío.cl Tierra de Encuentros.
[http://www.nuestroBio Bio.cl](http://www.nuestroBioBio.cl)
- Portal Gobierno Regional de la Región Bio Bio.
[http://www.goreBio Bio.cl](http://www.goreBioBio.cl)
- Ministerio de Salud.
 - <http://www.minsal.cl>

Anexo 1 - Ciudades

Id	Ciudad	Pob.	X Coor	Y Coor	Id	Ciudad	Pob.	X Coor	Y Coor
1	Concepción	216.061	673975,21	5923655,20	28	San Rosendo	3.918	702610,08	5874522,53
2	Coronel	95.528	663563,84	5903264,93	29	Santa Bárbara	19.970	763228,49	5828090,12
3	Chiguayante	81.302	675250,42	5912684,07	30	Tucapel	12.777	770188,05	5868808,74
4	Florida	10.177	708607,87	5922000,80	31	Yumbel	20.498	717159,89	5891631,79
5	Hualqui	18.768	683597,15	5905989,70	32	Chillán	161.953	759200,55	5944844,45
6	Lota	49.089	663913,96	5893738,40	33	Bulnes	20.595	741776,29	5930888,42
7	Penco	46.016	679140,99	5932201,46	34	Cobquecura	5.687	698656,87	5999193,67
8	Sn Pedro	80.447	666665,91	5921971,14	35	Coelemu	16.082	706475,25	5959815,71
9	Santa Juana	12.713	682861,63	5884051,43	36	Coihueco	23.583	783170,74	5942097,40
10	Talcahuano	250.348	668133,18	5935051,58	37	Chillan Viejo	22.084	756484,52	5942431,70
11	Tomé	52.440	682963,03	5944581,85	38	El Carmen	12.845	765391,73	5912617,40
12	Lebu	25.035	619724,82	5836920,11	39	Ninhue	5.738	733236,10	5968510,15
13	Arauco	34.873	649164,80	5876249,43	40	Ñiquén	11.421	778217,23	5979252,86
14	Cañete	31.270	641973,38	5814372,87	41	Pemuco	8.821	758886,29	5903700,37
15	Contulmo	5.838	655798,16	5792115,52	42	Pinto	9.875	777457,25	5934176,36
16	Curanilahue	31.943	645947,18	5851629,92	43	Portezuelo	5.470	730053,01	5954308,93
17	Los Alamos	18.632	636237,94	5835080,40	44	Quillón	15.146	725957,30	5930832,48
18	Tirúa	9.664	632445,87	5755510,96	45	Quirihue	11.429	720440,42	5982170,93
19	Los ángeles	166.556	734167,08	5849532,55	46	Ránquil	5.683	714938,05	5942838,90
20	Antuco	3.908	794417,85	5863656,36	47	San Carlos	50.088	773081,27	5964712,54
21	Cabrero	25.282	731294,93	5897735,95	48	San Fabián	3.646	809201,21	5948949,13
22	la Laja	22.404	703736,00	5871014,32	49	San Ignacio	16.106	765080,65	5923537,53
23	Mulchén	29.003	743282,46	5822325,95	50	San Nicolás	9.741	749657,68	5957118,46
24	Nacimiento	25.971	705289,84	5847224,59	51	Treguaco	5.296	709343,28	5966084,69
25	Negrete	8.579	717793,30	5837565,49	52	Yungay	16.814	765601,13	5888580,41
26	Quilaco	4.021	764161,40	5825494,00	53	Alto Bio Bio	7.027	798043,80	5803243,19
27	Quilleco	10.428	766973,67	5849316,63	54	Hualpén	88.046	668677,01	5926858,53

Anexo 2 – Distancias entre Ciudades

		Concepción	Coronel	Chiguayante	Florida	Hualqui	Lota	Penco	San Pedro	Santa Juana	Talcahuano	Tomé	Lebu	Arauco	Cañete	Contulmo	Curanilahue	Los Alamos	Tirúa	Los ángeles	Antuco	Cabrero	la Laja	Mulchén	Nacimiento	Negrete	Quilaco	Quilleco
1	Concepción	0	29	11	45	24	37	12	6	52	16	28	143	70	135	170	94	116	202	140	204	122	141	168	104	121	182	180
2	Coronel	29	0	38	74	51	8	41	22	39	41	57	114	42	106	141	65	87	174	126	191	150	128	154	91	108	169	166
3	Chiguayante	11	38	0	55	13	46	23	16	61	26	39	152	80	144	179	103	125	212	149	213	132	150	177	114	130	192	189
4	Florida	45	74	55	0	69	82	51	51	97	58	67	188	115	180	215	139	161	247	126	171	77	124	155	152	153	165	149
5	Hualqui	24	51	13	69	0	59	36	29	75	39	52	166	93	157	193	116	139	225	125	183	84	103	153	127	144	163	159
6	Lota	37	8	46	82	59	0	49	30	43	49	65	106	34	98	133	57	79	165	131	195	159	132	159	96	113	174	171
7	Penco	12	41	23	51	36	49	0	19	64	20	16	156	83	147	182	106	128	215	152	214	119	167	180	117	134	208	191
8	San Pedro de	6	22	16	51	29	30	19	0	51	19	35	137	64	128	164	87	110	196	139	203	128	140	167	104	120	181	179
9	Santa Juana	52	39	61	97	75	43	64	51	0	66	80	145	72	136	167	95	118	204	91	155	141	92	119	56	72	133	131
10	Talcahuano	16	41	26	58	39	49	20	19	66	0	36	156	83	147	182	106	128	215	154	218	134	155	182	119	135	196	194
11	Tomé	28	57	39	67	52	65	16	35	80	36	0	172	99	163	198	122	145	231	165	210	116	163	193	133	150	204	188
12	Lebu	143	114	152	188	166	106	156	137	145	156	172	0	63	54	90	56	27	122	216	281	266	236	225	199	198	248	256
13	Arauco	70	42	80	115	93	34	83	64	72	83	99	63	0	79	114	38	60	146	160	224	192	161	188	124	141	202	200
14	Cañete	135	106	144	180	157	98	147	128	136	147	163	54	79	0	36	47	27	68	163	227	213	182	172	146	144	194	203
15	Contulmo	170	141	179	215	193	133	182	164	167	182	198	90	114	36	0	83	63	65	129	193	179	149	138	112	111	161	169
16	Curanilahue	94	65	103	139	116	57	106	87	95	106	122	56	38	47	83	0	29	115	183	247	215	184	218	148	164	226	223
17	Los Alamos	116	87	125	161	139	79	128	110	118	128	145	27	60	27	63	29	0	95	189	254	239	209	198	172	171	221	229
18	Tirúa	202	174	212	247	225	165	215	196	204	215	231	122	146	68	65	115	95	0	194	259	244	214	203	177	176	226	234
19	Los ángeles	140	126	149	126	125	131	152	139	91	154	165	216	160	163	129	183	189	194	0	64	56	48	32	32	33	43	40
20	Antuco	204	191	213	171	183	195	214	203	155	218	210	281	224	227	193	247	254	259	64	0	101	112	93	96	97	103	42
21	Cabrero	122	150	132	77	84	159	119	128	141	134	116	266	192	213	179	215	239	244	56	101	0	54	84	82	83	95	78
22	la Laja	141	128	150	124	103	132	167	140	92	155	163	236	161	182	149	184	209	214	48	112	54	0	76	37	54	90	88
23	Mulchén	168	154	177	155	153	159	180	167	119	182	193	225	188	172	138	218	198	203	32	93	84	76	0	60	34	24	69
24	Nacimiento	104	91	114	152	127	96	117	104	56	119	133	269	124	146	112	148	172	177	32	96	82	37	60	0	18	74	72
25	Negrete	121	108	130	153	144	113	134	120	72	135	150	198	141	144	111	164	171	176	33	97	83	54	34	18	0	76	73
26	Quilaco	182	169	192	165	163	174	208	181	133	196	204	248	202	194	161	226	221	226	43	103	95	90	24	74	76	0	79
27	Quilleco	180	166	189	149	159	171	191	179	131	194	188	256	200	203	169	223	229	234	40	42	78	88	69	72	73	79	0
28	San Rosendo	143	130	153	126	104	135	169	142	95	158	165	238	163	185	151	187	211	216	50	114	56	2	78	39	57	93	90
29	Santa Bárbara	179	166	188	162	160	170	204	178	130	193	200	256	199	202	168	222	229	234	39	100	91	87	27	71	72	3	76
30	Tucapel	111	112	105	81	94	109	111	116	89	122	116	154	121	139	138	125	138	178	41	25	48	66	54	68	61	44	20
31	Yumbel	89	117	79	94	66	125	136	95	144	104	133	269	159	216	182	182	242	247	59	118	18	37	87	85	86	98	93
32	Chillán	98	127	109	67	122	135	91	105	150	106	87	241	169	233	235	192	214	301	112	137	62	110	140	138	139	151	115
33	Bulnes	93	121	103	48	116	129	90	99	145	104	86	236	163	227	217	186	209	282	93	138	44	91	121	119	120	132	115
34	Cobquecura	124	153	135	150	148	161	117	131	176	132	104	267	195	259	294	218	240	327	212	239	163	211	241	239	240	251	217
35	Coelemu	58	87	69	84	82	95	51	65	110	66	38	201	129	193	228	152	174	260	162	207	113	160	191	163	190	201	185
36	Coihueco	125	154	136	93	149	162	118	131	177	132	114	268	195	260	262	219	241	327	139	164	89	137	167	165	166	177	141
37	Chillán Viejo	96	125	107	65	120	133	89	103	148	104	85	240	167	231	234	190	213	299	110	134	61	108	138	136	137	149	111
38	El Carmen	120	149	131	76	144	157	118	127	172	133	114	264	191	255	244	214	237	310	121	107	71	119	149	147	148	160	84
39	Ninhue	110	139	121	111	134	147	103	117	162	118	90	253	181	245	279	204	226	312	156	182	107	154	184	182	183	195	160
40	Ñiquén	118	138	123	90	120	143	110	125	135	119	101	213	165	214	224	184	202	267	137	117	94	131	161	151	154	154	130
41	Pemuco	125	153	135	80	148	161	122	131	177	137	119	268	195	254	221	218	241	286	91	91	63	110	120	123	124	130	69
42	Pinto	123	152	133	91	147	160	116	129	175	130	111	266	193	257	260	217	239	325	136	162	87	134	165	162	164	175	139
43	Portezuelo	84	113	95	67	108	121	77	91	136	92	64	227	155	219	261	178	200	286	137	170	88	135	165	163	164	176	148
44	Quillón	68	97	79	23	92	105	67	75	120	81	64	211	139	203	226	162	184	271	103	148	53	101	131	129	130	142	125
45	Quirihue	91	120	101	117	115	128	84	97	143	98	71	234	161	226	261	185	207	293	179	206	130	177	207	205	206	218	183
46	Ránquil	45	65	50	22	48	71	37	53	67	47	32	142	94	148	162	114	133	205	95	112	48	73	124	96	105	127	107
47	San Carlos	123	152	133	91	147	160	116	129	175	130	112	266	193	258	260	217	239	325	136	163	87	135	165	163	164	175	141
48	San Fabián de	164	193	175	133	188	201	157	171	216	172	153	307	235	299	301	258	280	367	178	204	129	176	206	204	205	217	182
49	San Ignacio	116	145	127	71	140	153	114	123	168	129	110	259	187	251	240	210	232	305	117	121	67	115	145	143	144	156	99
50	San Nicolás	121	149	131	89	144	157	113	127	173	128	109	264	191	255	258	214	237	323	134	161	85	132	163	160	161	173	138
51	Treguaco	68	96	78	94	91	104	60	74	120	75	48	211	138	202	238	161	184	270	172	122	170	200	172	199	211	194	
52	Yungay	145	174	156	100	125	182	143	152	162	158	139	287	216	234	200	239	260	265	71	71	42	89	99	103	104	110	49
53	Alto BioBio	173	168	164	149	154	162	175	177	141	185	182	181	166	156	143	160	165	172	79	61	116	116	58	103	87	41</	

Continuación

	San Rosendo	Santa Bárbara	Tucapel	Yumbel	Chillán	Bulnes	Cobquecura	Coelemu	Coihueco	Chillan Viejo	El Carmen	Ninhue	Ñiquén	Pemuco	Pinto	Portezuelo	Quillón	Quirihue	Ránquil	San Carlos	San Fabián	San Ignacio	San Nicolás	Treguaco	Yungay	Alto BioBio	Hualpén
Concepción	143	179	111	89	98	93	124	58	125	96	120	110	118	125	123	84	68	91	45	123	164	116	121	68	145	173	18
Coronel	130	166	112	117	127	121	153	87	154	125	149	139	138	153	152	113	97	120	65	152	193	145	149	96	174	168	43
Chiguayante	153	188	105	79	109	103	135	69	136	107	131	121	123	135	133	95	79	101	50	133	175	127	131	78	156	164	25
Florida	126	162	81	94	67	48	150	84	93	65	76	111	90	80	91	67	23	117	22	91	133	71	89	94	100	149	62
Hualqui	104	160	94	66	122	116	148	82	149	120	144	134	120	148	147	108	92	115	48	147	188	140	144	91	125	154	38
Lota	135	170	109	125	135	129	161	95	162	133	157	147	143	161	160	121	105	128	71	160	201	153	157	104	182	162	51
Penco	169	204	111	136	91	90	117	51	118	89	118	103	110	122	116	77	67	84	37	116	157	114	113	60	143	175	28
San Pedro de	142	178	116	95	105	99	131	65	131	103	127	117	125	131	129	91	75	97	53	129	171	123	127	74	152	177	21
Santa Juana	95	130	89	144	150	145	176	110	177	148	172	162	135	177	175	136	120	143	67	175	216	168	173	120	162	141	68
Talcahuano	158	193	122	104	106	104	132	66	132	104	133	118	119	137	130	92	81	98	47	130	172	129	128	75	158	185	19
Tomé	165	200	116	133	87	86	104	38	114	85	114	90	101	119	111	64	64	71	32	112	153	110	109	48	139	182	44
Lebu	238	256	154	269	241	236	267	201	268	240	264	253	213	268	266	227	211	234	142	266	307	259	264	211	287	181	157
Arauco	163	199	121	159	169	163	195	129	195	167	191	181	165	195	193	155	139	161	94	193	235	187	191	138	216	166	85
Cañete	185	202	139	216	233	227	259	193	260	231	255	245	214	254	257	219	203	226	148	258	299	251	255	202	234	156	149
Contulmo	151	168	138	182	235	217	294	228	262	234	244	279	224	221	260	261	226	261	162	260	301	240	258	238	200	143	184
Curanilahue	187	222	125	182	192	186	218	152	219	190	214	204	184	218	217	178	162	185	114	217	258	210	214	161	239	160	108
Los Alamos	211	229	138	242	214	209	240	174	241	213	237	226	202	241	239	200	184	207	133	239	280	232	237	184	260	165	130
Tirúa	216	234	178	247	301	282	327	260	327	299	310	312	267	286	325	286	271	293	205	325	367	305	323	270	265	172	216
Los ángeles	50	39	41	59	112	93	212	162	139	110	121	156	137	91	136	137	103	179	95	136	178	117	134	172	71	79	155
Antuco	114	100	25	118	137	138	239	207	164	134	107	182	117	91	162	170	148	206	112	163	204	121	161	217	71	61	220
Cabrero	56	91	48	18	62	44	163	113	89	61	71	107	94	63	87	88	53	130	48	87	129	67	85	122	42	116	139
la Laja	2	87	66	37	110	91	211	160	137	108	119	154	131	110	134	135	101	177	73	135	176	115	132	170	89	116	157
Mulchén	78	27	54	87	140	121	241	191	167	138	149	184	161	120	165	165	131	207	124	165	206	145	163	200	99	58	183
Nacimiento	39	71	68	85	138	119	239	163	165	136	147	182	151	123	162	163	129	205	96	163	204	143	160	172	103	103	120
Negrete	57	72	61	86	139	120	240	190	166	137	148	183	154	124	164	164	130	206	105	164	205	144	161	199	104	87	137
Quilaco	93	3	44	98	151	132	251	201	177	149	160	195	154	130	175	176	142	218	127	175	217	156	173	211	110	41	198
Quilleco	90	76	20	93	115	115	217	185	141	111	84	160	130	69	139	148	125	183	107	141	182	99	138	194	49	56	196
San Rosendo	0	89	68	38	112	93	212	162	138	110	121	156	129	112	136	137	103	179	69	136	178	117	134	172	91	119	159
Santa Bárbara	89	0	41	94	147	128	248	198	174	146	156	191	152	127	172	173	138	215	124	172	213	152	170	207	107	43	195
Tucapel	68	41	0	58	77	68	149	111	74	75	44	106	111	37	66	94	76	124	92	96	89	55	91	115	20	71	117
Yumbel	38	94	58	0	80	61	180	130	106	78	89	124	107	80	104	105	70	147	51	104	146	84	102	139	59	120	103
Chillán	112	147	77	80	0	25	103	84	27	3	42	46	39	46	25	38	43	69	44	27	68	30	24	85	66	147	113
Bulnes	93	128	68	61	25	0	126	83	52	24	40	69	61	44	50	51	24	93	29	50	91	36	48	92	65	139	110
Cobquecura	212	248	149	180	103	126	0	66	129	105	143	60	82	148	127	127	127	34	59	109	150	132	78	57	168	220	139
Coelemu	162	198	111	130	84	83	66	0	111	82	112	52	74	116	109	61	61	33	19	101	142	108	71	9	137	181	73
Coihueco	138	174	74	106	27	52	129	111	0	30	68	73	37	72	13	65	70	96	68	53	95	57	51	112	93	140	140
Chillan Viejo	110	146	75	78	3	24	105	82	30	0	38	49	43	42	28	36	41	72	42	29	71	27	27	88	63	145	112
El Carmen	121	156	44	89	42	40	143	112	68	38	0	87	68	15	66	75	52	110	59	67	109	26	65	121	36	114	138
Ninhue	156	191	106	124	46	69	60	52	73	49	87	0	46	91	71	77	87	26	32	52	94	76	22	43	112	178	125
Ñiquén	129	152	111	107	39	61	82	74	37	43	68	46	0	78	45	54	71	58	73	15	43	57	36	70	92	177	121
Pemuco	112	127	37	80	46	44	148	116	72	42	15	91	78	0	70	79	56	114	59	72	113	30	69	125	21	108	142
Pinto	136	172	66	104	25	50	127	109	13	28	66	71	45	70	0	63	68	94	63	51	93	26	49	110	91	133	138
Portezuelo	137	173	94	105	38	51	127	61	65	36	75	77	54	79	63	0	43	94	19	58	99	63	55	71	99	166	99
Quillón	103	138	76	70	43	24	127	61	70	41	52	87	71	56	68	43	0	93	16	68	109	48	65	70	77	147	86
Quirihue	179	215	124	147	69	93	34	33	96	72	110	26	58	114	94	94	93	0	40	75	117	99	45	23	135	195	106
Ránquil	69	124	92	51	44	29	59	19	68	42	59	32	73	59	63	19	16	40	0	62	94	54	38	24	74	162	49
San Carlos	136	172	96	104	27	50	109	101	53	29	67	52	15	72	51	58	68	75	62	0	43	56	30	92	92	163	138
San Fabián de	178	213	89	146	68	91	150	142	95	71	109	94	43	113	93	99	109	117	94	43	0	98	72	133	134	146	179
San Ignacio	117	152	55	84	30	36	132	108	57	27	26	76	57	30	26	63	48	99	54	56	98	0	54	115	51	125	134
San Nicolás	134	170	91	102	24	48	78	71	51	27	65	22	36	69	49	55	65	45	38	30	72	54	0	61	90	161	136
Treguaco	172	207	115	139	85	92	57	9	112	88	121	43	70	125	110	71	70	23	24	92	133	115	61	0	146	185	83
Yungay	91	107	20	59	66	65	168	137	93	63	36	112	92	21	91	99	77	135	74	92	134	51	90	146	0	91	163
Alto BioBio	119	43	71	120	147	139	220	181	140	145	114	178	177	108	133	166	147	195	162	163	146	125	161	185	91	0	179
Hualpén	159	195	117	103	113	110	139	73	140	112	138	125	121	142	138	99	86	106	49	138	179	134	136	83	163	179	0

Anexo 3 – Hospitales de la Región.

Nombre Hospital	Ciudad
Servicio de Salud Ñuble	
Hospital de Chillán	Chillán
Hospital de San Carlos	San Carlos
Hospital de Bulnes	Bulnes
Hospital de Yungay	Yungay
Hospital de Quirihue	Quirihue
Hospital de El Carmen	El Carmen
Hospital de Coelemu	Coelemu
Servicio de Salud Concepción	
Hospital Clínico Regional de Concepción	Concepción
Hospital Traumatológico de Concepción	Concepción
Hospital de Coronel Lautaro	Coronel
Hospital de Lota	Lota
Hospital de Santa Juana	Santa Juana
Hospital de Florida	Florida
Servicio de Salud Talcahuano	
Hospital de Talcahuano	Talcahuano
Hospital de Tomé	Tomé
Hospital Penco	Penco
Servicio de Salud Biobío	
Hospital de Los Ángeles	Los Ángeles
Hospital de Mulchén	Mulchén
Hospital de Nacimiento	Nacimiento
Hospital de Yumbel	Yumbel
Hospital de Laja	la Laja
Hospital de Santa Bárbara	Santa Bárbara
Hospital de Huépil	Tucapel
Servicio de Salud Arauco	
Hospital de Curanilahue	Curanilahue
Hospital de Lebu	Lebu
Hospital de Cañete	Cañete
Hospital de Contulmo	Contulmo
Hospital de Arauco	Arauco