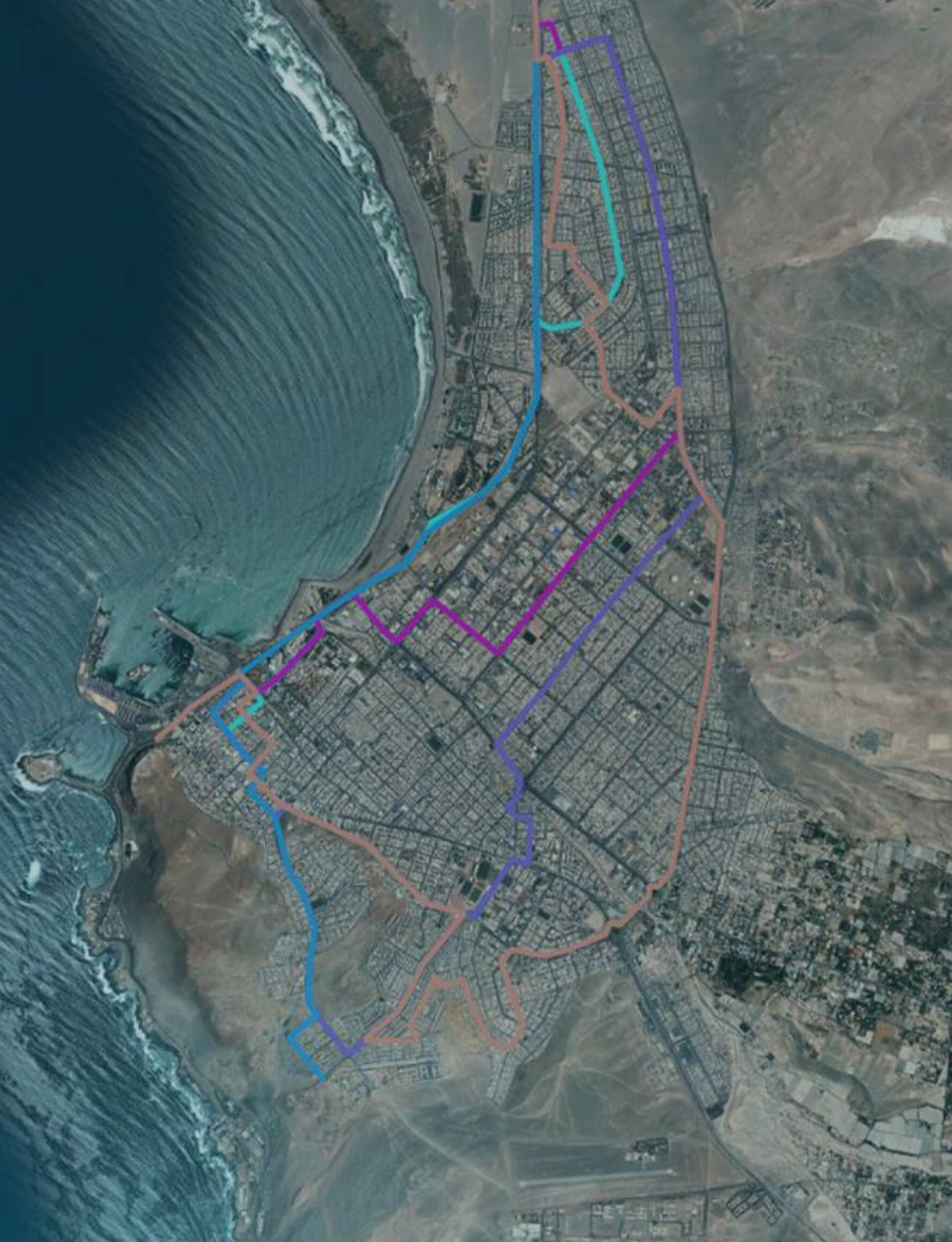
Un procedimiento práctico para encontrar rutas "óptimas" transporte público

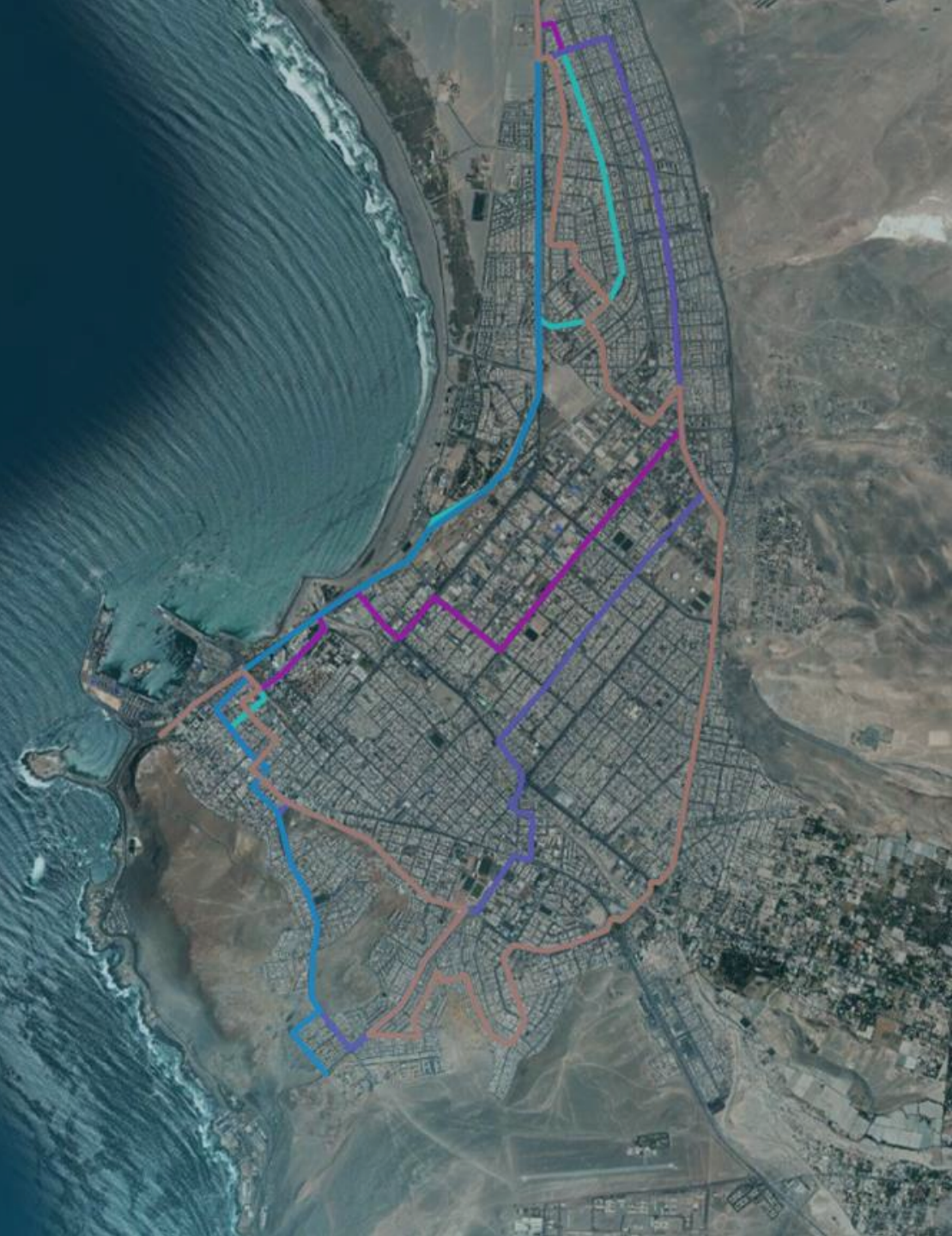
Ceremonia de Incorporación
Sociedad Chilena de Ingeniería de Transporte

Mauricio Jara Campos

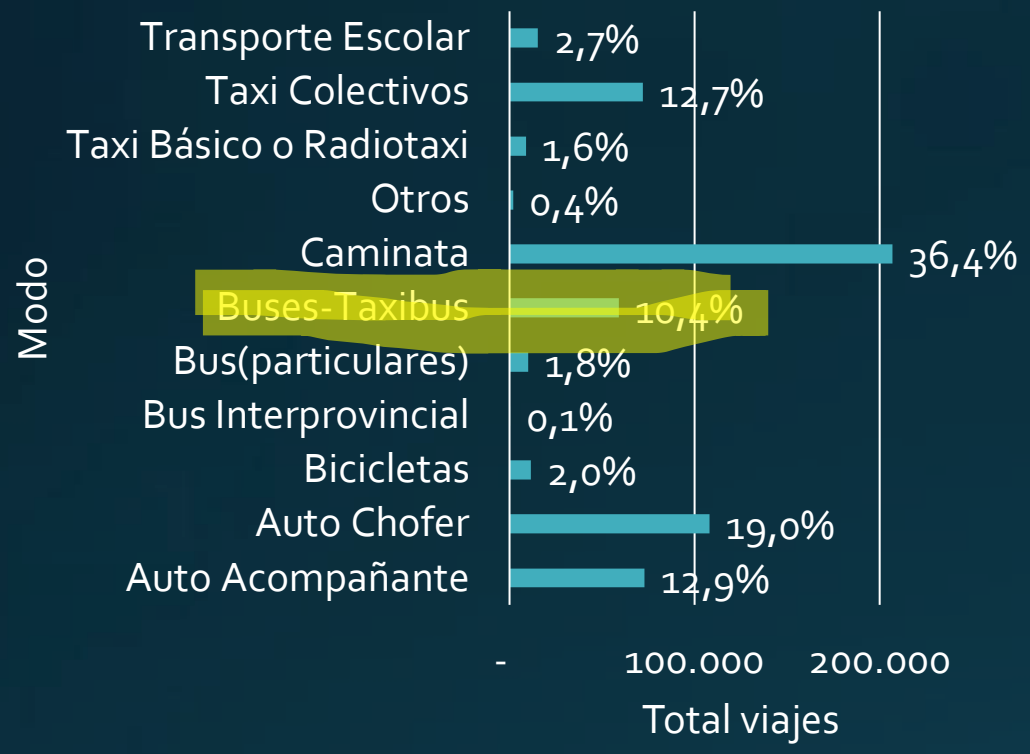
Junio 2021



- La oportunidad:
  - Voluntad política y técnica para introducir cambios relevantes en el Sistema de Tte. Público de una ciudad intermedia (Arica).



Un poco de contexto



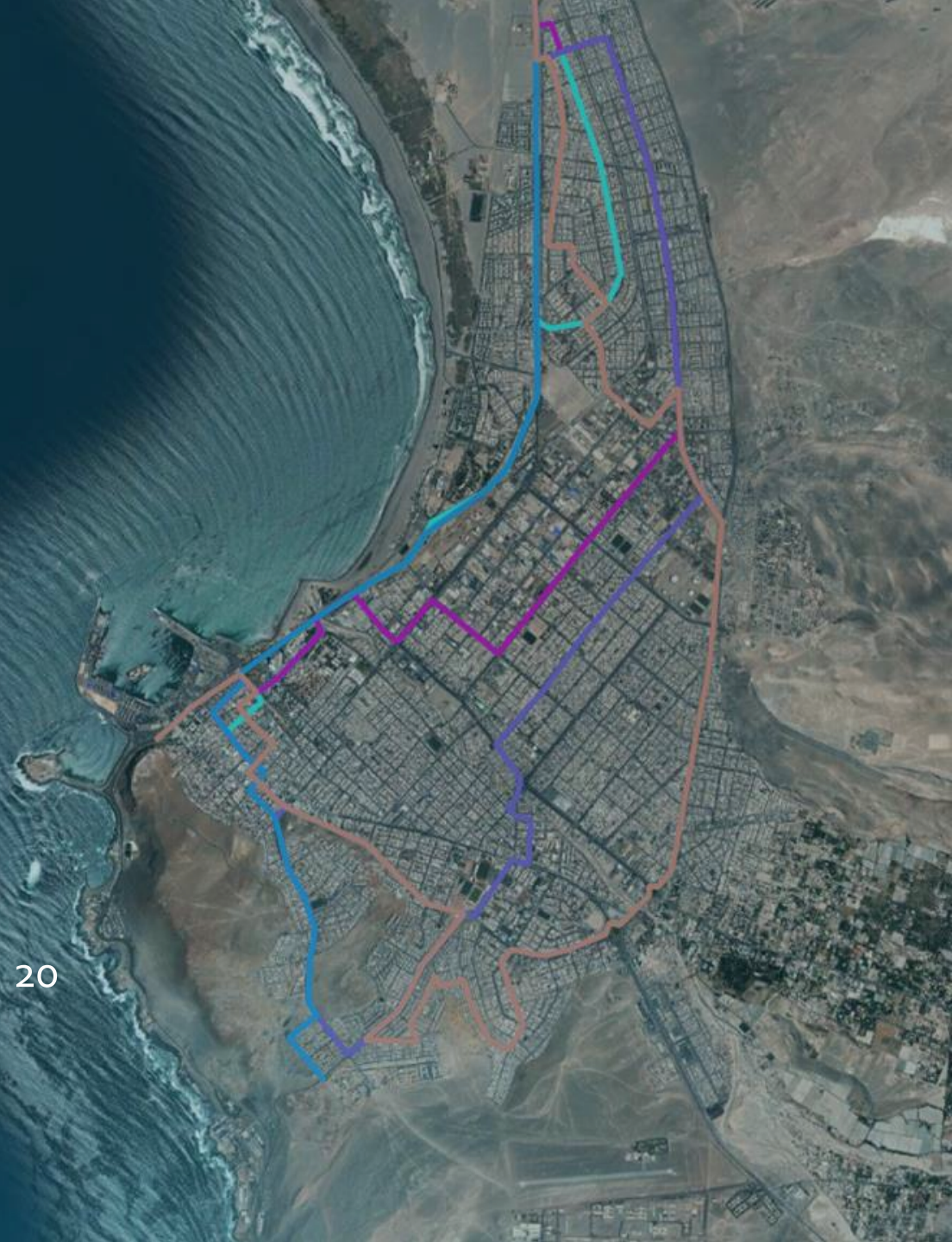
Razón TVbus/TVauto	Nº viajes motorizados	% respecto total	% acumulado	Demanda potencial (pax-km)	Nº de pares O-D
<1	2.539	9%	9%	3.740	268
1-1.25	2.081	8%	17%	4.937	141
1.25-1.5	2.912	11%	28%	8.018	163
1.5-1.75	4.185	15%	43%	13.125	190
1.75-2	2.761	10%	53%	10.203	196
>2	12.810	47%	100%	40.024	806
TOTAL	27.288	100%		80.048	1764

Fuente: EOD 2010. Actualización Diagnóstico del S.T.U. de la Ciudad de Arica. SECTRA, 2012.

- La oportunidad:
  - Voluntad política y técnica para introducir cambios relevantes en el Sistema de Tte. Público de una ciudad intermedia (Arica).

El problema:

- restricciones:
  - Deadline de 3 meses.
  - Información de base: modelo estratégico construido en 2010, con cortes temporales 2015, 20 y 25.
  - Recursos (tiempo, rrhh)



- ¿Cómo aprovechamos la oportunidad?

El problema de identificación de rutas óptimas de transporte público

- Newel (1979) "La selección de una ruta de estructura óptima para una red de un tamaño realista es un problema de optimización de tipo combinatorio de proporciones astronómicas"!!!

- Adoptamos una metodología simplificada, buscando replicar conceptos del algunos enfoques de solución propuestos en la literatura:
  - Heurísticas de resolución.
  - Conocimiento experto.
  - Utilización de SIG y herramientas de modelación.

G.F. Newel (1979) *Some Issues Relating to the Optimal Design of Bus Routes*. Transportation Science, Vol 13, Nº1.

El problema de identificación de rutas óptimas de transporte público

- Diseño físico v/s diseño operacional.

El problema de identificación de rutas óptimas de transporte público

- Diseño físico v/s diseño operacional:
  - El primero corresponde a determinar la secuencia más eficiente de arcos y nodos por los que debe transcurrir un servicio desde su terminal de origen hasta su punto de retorno (terminal o punto de circunvalación) y viceversa.

El problema de identificación de rutas óptimas de transporte público

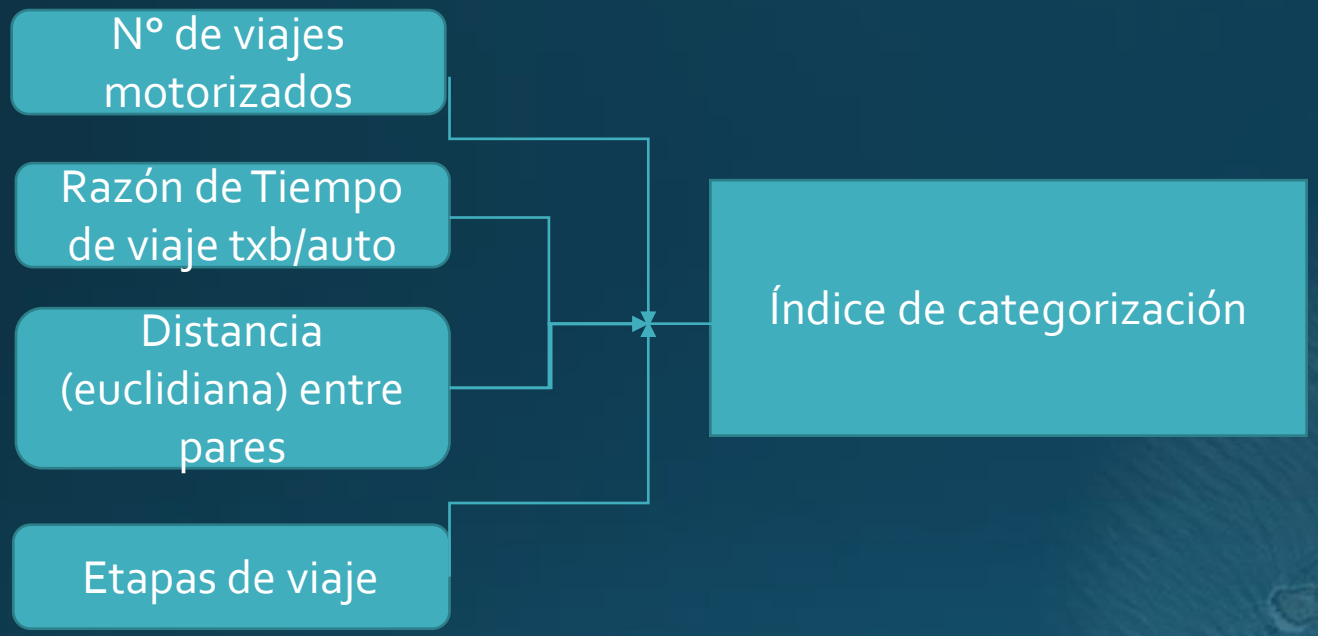
- Diseño físico v/s diseño operacional:
  - El segundo corresponde a la definición de características operativas: flota, frecuencia, horarios, sobre trazados y tecnologías dadas.

- Simplificamos el desafío a 2 subproblemas:
  1. Identificar las cabeceras de servicio más promisorias para proponer como servicio nuevo.

- Simplificamos el desafío a 2 subproblemas:
  1. Identificar las cabeceras de servicio más promisorias para proponer como servicio nuevo.

- Simplificamos el desafío a 2 subproblemas:
  1. Identificar las cabeceras de servicio más promisorias para proponer como servicio nuevo.

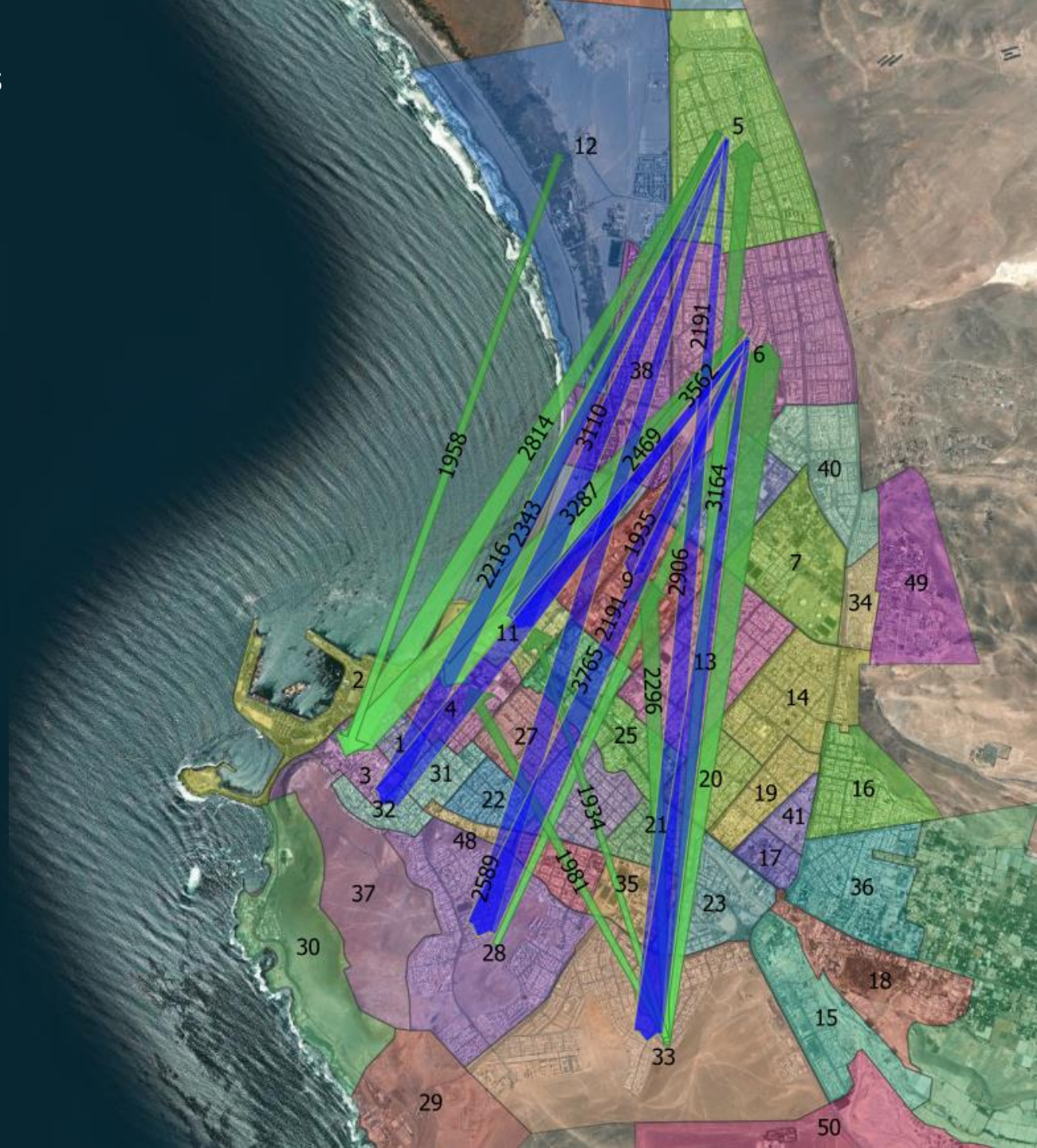
1. Identificar las cabeceras de servicio más promisorias para proponer como servicio nuevo.



$$I_{ij} = T_{ij} \times \frac{tv_{txb_{ij}}}{tv_{auto_{ij}}} \times d_{ij} \times N_{etapas_{ij}}$$

1. Identificar las cabeceras de servicio más promisorias para proponer como servicio nuevo.

Percentil	Índice	N° casos
99	1943,9	18
95	762,8	89
90	428,2	177
50	43,1	882
10	4,1	1587



- Simplificamos el desafío a 2 subproblemas:
  2. Identificar la ruta más promisoria para el par O-D seleccionado.

2. Identificar la ruta más promisoria para el par O-D seleccionado.

Aplicamos métodos de búsqueda de ruta mínima con impedancias modificadas:

1. Tiempo de viaje equilibrio
2. Distancia
3. Población potencial

$$Cob_i = Tv_i \times F_i$$

$$F_i(pp) = \begin{cases} \left(1 + \ln \frac{max_i(pp)}{pp_i}\right), & pp > 0 \\ 10, & pp = 0 \end{cases}$$

Como los propuestos en:

- Sekhar et al, 2004, "*An Approach to Transit Path Design Using GIS*", International Journal of Urban Sciences, 8(1), 28-39,
- Ramirez y Seneviratne, 1996, "Transit Route Design Applications Using Geographic Information Systems", Transportation Research Record 1557, TRB, Washington D.C.

2. Identificar la ruta más promisoria para el par O-D seleccionado.

Métodos de búsqueda de ruta mínima con impedancias modificadas:

1. Tiempo de viaje equilibrio
2. Distancia
3. Población potencial

$$Cob_i = Tv_i \times F_i$$

$$F_i(pp) = \begin{cases} \left(1 + \ln \frac{max_i(pp)}{pp_i}\right), & pp > 0 \\ 10, & pp = 0 \end{cases}$$

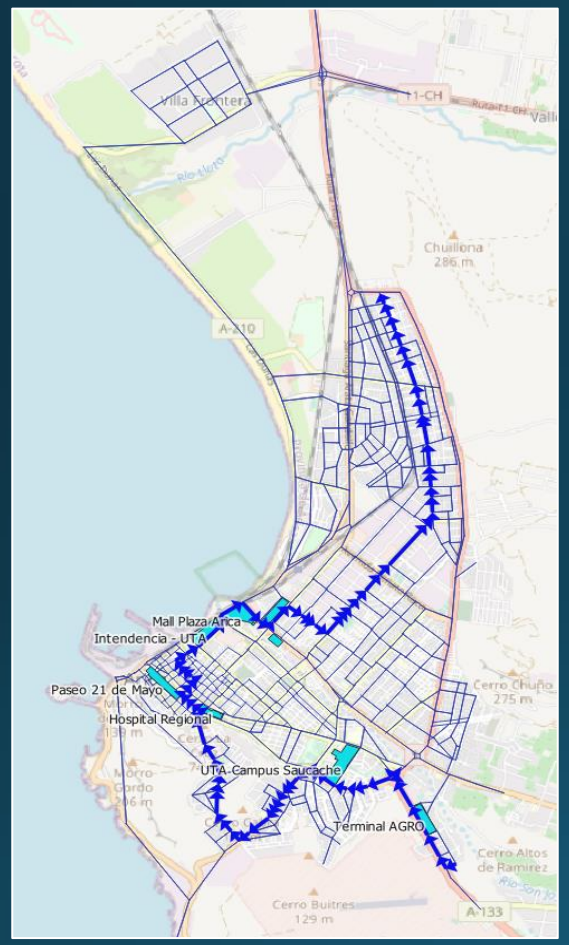
Propuesta preliminar de nuevo servicio Norte - Centro

Servicio	DIST[km]	TPO[min]	Pax	Pax/km
Linderos Oriente – Centro 5A	12,5	35,1	465	3,7
1R ida	11,9	47,9	477 (-81)	4,0
12 ida	20,2	57,7	233 (-60)	1,6

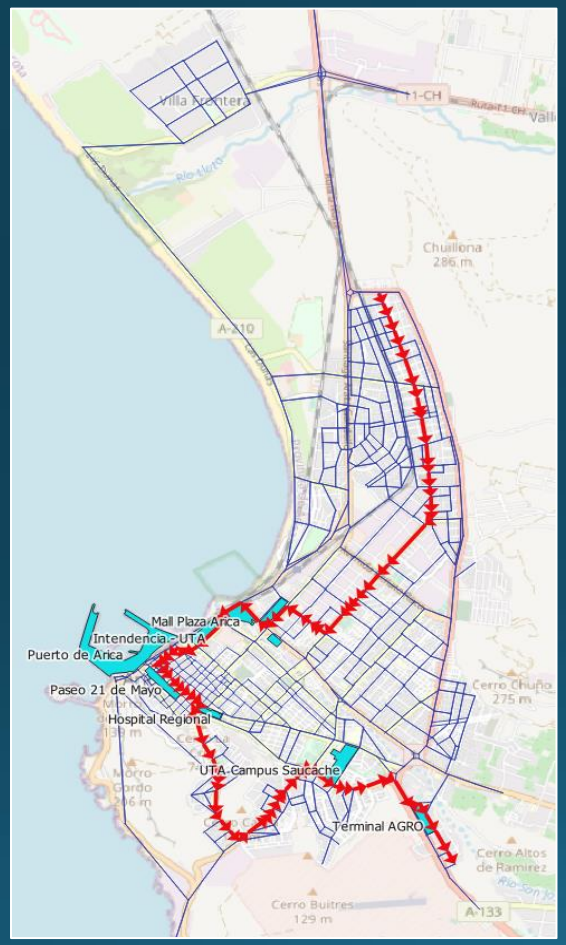
	Pax Base	Pax	Diferencia
Afluencia Total	8.477	8.698	221

Propuesta definitiva de nuevo servicio Norte – Centro - Agro

Línea nueva Lo8



Ida



Retorno

	Línea						Pasajero
Servicio	Distancia (km)	Tiempo (min)	Afluencia (pax/hr)	Pax/km	Saturación Máxima	Buses-km (bus-kms)	Tiempo a bordo pax (min)
L08 Ida	16,5	46.0	249,6	1,9	0,6	101,1	15,4
L08 Reg	16,7	50,6	470,0	3,5	1,0	112,7	20,8

Línea	Indicadores a nivel de línea		
	Afluencia total línea (Ida+Retorno) (pax/h)	ΔTiempo promedio de viaje (minutos x pax)	% usuarios nuevos modo bus/afluencia línea
Lo8	719,6	-13,59	52,0%

Línea	Indicadores a nivel de sistema				
	Δdemanda total sistema buses (pax/hr)	% aumento demanda c/r total del sistema	ΔBuses-kms	Elasticidad de servicio del sistema (Δpax/ Δbus-km)	Δ Tiempo de viaje total (hrs)
Lo8	374	4,4%	223	1,68	-163

Conclusiones y comentarios

- Método puede ser perfeccionado para generar propuestas razonables relativas al diseño físico de servicios.
  - Mejoras al "índice de categorización": variables, propiedades matemáticas, entre otros.
  - Mejoras al procedimiento de identificación de rutas: variables de impedancia, automatización, entre otros.
  - Retroalimentación con modelos estratégicos.
- Propuestas generadas con el método fueron efectivas para identificar brechas en pares O-D "vulnerables".
- Contar con mejor información de base debería fortalecer el proceso:
  - Modelos más desagregados en zonificación, topología de redes.