

## USO DEL ÁLGEBRA LINEAL EN EL MODELADO DE LA DEMANDA DE TRANSPORTE: EL CASO DEL CONGLOMERADO SANTA FE - SANTO TOMÉ

Sonia Pastorelli, Sandra Ramirez, Eva Casco

Facultad Regional Santa Fe. Universidad Tecnológica Nacional. Argentina  
spastorelli@frsf.utn.edu.ar , scramirez@frsf.utn.edu.ar ecasco@frsf.utn.edu.ar

Nivel Universitario

**Palabras clave:** Simulación. Demanda de Transporte. Matrices. Mínimos Cuadrados.

### Resumen

Este trabajo fue realizado bajo el marco del proyecto de investigación “Análisis de la implementación de una línea férrea mediante la utilización de herramientas matemáticas”, el que propone el estudio de un caso que enriquece la formación técnica de alumnos, fortaleciendo el perfil del egresado.

Este proyecto analiza la viabilidad de implementación de una línea férrea para conectar las ciudades de Santa Fe y Santo Tomé; buscando consolidar la red de transporte público, ampliando la actual oferta, descongestionando centros claves de generación y atracción de viajes, y brindando al usuario una alternativa elegible por su economía, seguridad, menor tiempo de traslado, y mayor sustentabilidad ambiental.

En este reporte se modela y simula la demanda del sistema de transporte del conglomerado bajo el supuesto de la incorporación de un nuevo medio: el metro.

Los resultados se constituyen luego en insumos para la redacción de material de estudio de cátedras del área matemática básica y matemática aplicada.

### Fundamentación

La búsqueda de mejoras en el sistema de gestión y calidad en educación debe ser abordada con alternativas múltiples, que trascienden el aula. Autores como Celia Hoyles y Richard Noss (en Balacheff, 1999) enfatizan la diferencia entre las matemáticas en la práctica y las matemáticas formales. Su esfuerzo está encaminado en encontrar las relaciones existentes entre las matemáticas como herramientas y el saber matemático. Proponen ver la actividad matemática como una actividad de modelización en un sentido amplio.

Bajo esa mirada se desarrolla actualmente el proyecto de investigación “Análisis de la implementación de una línea férrea mediante la utilización de herramientas matemáticas”, formado por un equipo multidisciplinar de docentes, en el ámbito del departamento de Ingeniería Industrial y Materias Básicas, con intención de abordar la problemática referida al transporte público del conglomerado Santa Fe - Santo Tomé. En él también participan becarios alumnos y graduados de ingeniería civil, industrial y mecánica.

La problemática abordada por el proyecto es de gran interés en el medio, lo que se confirma con el hecho que el proyecto ha sido:

- declarado de interés por la *Secretaría de Planeamiento Urbano de la Municipalidad de la Ciudad de Santa Fe de la Vera Cruz* y
- seleccionado a los fines de financiamiento en el marco de la convocatoria 2011 de los *Programas de Promoción de las Actividades Científico-Tecnológicas y de Innovación de*

*la Provincia de Santa Fe.*

Hoy en día los aglomerados urbanos, de la mano con el crecimiento poblacional, se van constituyendo en forma de anillos concéntricos que conforman los centros de generación de viajes, ocasionando un aumento en la demanda de los distintos modos de transporte. Nuestras ciudades no son ajenas a esta situación, y la creciente necesidad de desplazamiento masivo, junto con las nuevas conformaciones del área metropolitana de Santa Fe, generan importantes inconvenientes en usuarios, en poderes públicos y en la sociedad en su conjunto al momento de trasladarse de un lugar a otro. Existe hoy, una dependencia exclusiva del transporte por autobús y del vehículo particular.

Con el ánimo de contribuir al progreso ordenado de nuestro entorno y a la diversidad de la oferta, se plantea el análisis de la incorporación de una nueva modalidad en el sistema de transporte: el ferrocarril.

Esta ampliación en la red actual de transporte de las localidades de Santa Fe y Santo Tomé, intentaría favorecer la articulación del territorio, mejorando la calidad de vida de los ciudadanos y abriendo el camino para numerosas acciones integradas hacia un nuevo modelo de desarrollo urbano, ambiental, social y cultural.

**Desarrollo****El problema: el estudio de un caso**

El sistema de transporte entre las ciudades de Santa Fe y Santo Tomé, debido a su interrelación en actividades de carácter social, comercial y administrativo presenta una saturación en la principal infraestructura vial que las comunica, con una fuerte dependencia del uso del vehículo particular. Zamorano, Bigas & Sastre (2004) en su Manual para la planificación, financiación e implantación de sistemas de transporte urbano, define que existen criterios indispensables para el análisis de alternativas y su posterior evaluación. Entre las más relevantes figuran la funcionabilidad de la solución, la reducción del tiempo total de viajes, la accesibilidad que se proporciona al área objeto de estudio, la integración urbana y ambiental y el costo de la alternativa. Estos criterios se tienen en cuenta en el modelado de la demanda.

El esquema clásico de modelización del transporte considera en una de sus etapas el modelo de generación-atracción para evaluar los viajes producidos y atraídos por cada zona de transporte en distintos escenarios. Considerando estos aspectos es que se analizó la matriz de viajes entre las ciudades de Santa Fe y Santo Tomé, deduciendo las matrices de pasajeros por modalidad, según el factor de ocupación de las mismas.

El elemento  $a_{i,j}$  de cada matriz representa los pasajeros diarios entre la zona origen  $j$  y destino  $i$ . Las zonas de cada ciudad son siete. Las mismas son expuestas en Tabla 1 (transporte privado) y Tabla 2(transporte público).

El recorrido propuesto de la línea férrea atraviesa las zonas ST2, ST3 Y ST5 de la ciudad de Santo Tomé y SF4, SF5, SF6 de la ciudad de Santa Fe. Esto posibilitó la conformación

de un ordenamiento, que a través del color, indique si la zona de origen y /o destino es atravesada o no en algún punto por la línea propuesta (Tabla 2). Es así que:

- a) Las zonas verdes corresponden al de un pasajero que viaja desde y hacia una zona atravesada por el recorrido del metro. Suelen catalogársela como de viaje directo-directo. Los usuarios de estas zonas no necesitarán un medio de transporte adicional ni en la ciudad origen, ni en la destino.
- b) Las zonas de color amarillo representan los viajes donde el destino o (excluyente) el destino no está sobre el recorrido del metro. Son viajes directos-indirectos o viceversa. El usuario deberá usar en la ciudad destino o en la de origen otro medio de transporte.
- c) Las zonas de color rojo refieren a un pasajero que viaja desde una zona origen a otra destino no atravesadas por la línea de ferrocarril propuesta. El pasajero de estas zonas deberá usar dos medios de transportes adicionales: uno en la ciudad origen y otro en la destino.

MOTO Sentido Santo Tomé a Santa Fe								AUTO Sentido Santo Tomé a Santa Fe							
	ST1	ST2	ST3	ST4	ST5	ST6	ST7		ST1	ST2	ST3	ST4	ST5	ST6	ST7
SF1	0	21	66	6	21	9	42	SF1	0	239	752	68	239	102	478
SF2	0	3	143	24	39	6	60	SF2	0	34	1640	273	444	68	683
SF3	0	15	33	12	15	6	6	SF3	0	171	376	137	171	68	68
SF4	3	27	69	12	39	3	36	SF4	34	307	786	137	444	34	410
SF5	9	86	498	77	206	42	221	SF5	102	991	5705	888	2357	478	2528
SF6	3	21	149	33	51	15	54	SF6	34	239	1708	376	581	171	615
SF7	0	3	15	3	12	0	9	SF7	0	34	171	34	137	0	102

TABLA 1: Pasajeros totales diarios en transporte privado

COLECTIVO Sentido Santo Tomé a Santa Fe								Zonas codificadas por color según son atravesadas o no por la línea férrea en origen y/o destino							
	ST1	ST2	ST3	ST4	ST5	ST6	ST7		ST1	ST2	ST3	ST4	ST5	ST6	ST7
SF1	0	125	394	36	125	54	251	SF1	Red	Yellow	Yellow	Red	Yellow	Red	Red
SF2	0	18	859	143	233	36	358	SF2	Red	Yellow	Yellow	Red	Yellow	Red	Red
SF3	0	90	197	72	90	36	36	SF3	Red	Yellow	Yellow	Red	Yellow	Red	Red
SF4	18	161	412	72	233	18	215	SF4	Yellow	Green	Green	Yellow	Green	Yellow	Yellow
SF5	54	519	2990	465	1235	251	1325	SF5	Yellow	Green	Green	Yellow	Green	Yellow	Yellow
SF6	18	125	895	197	304	90	322	SF6	Yellow	Green	Green	Yellow	Green	Yellow	Yellow
SF7	0	18	90	18	72	0	54	SF7	Red	Yellow	Yellow	Red	Yellow	Red	Red

TABLA 2: Pasajeros totales en transporte público actual

**Objetivos**

Se propone el desarrollo de un estudio de caso que a la vez que encara el análisis y alternativas de solución a una problemática local, permitirá enriquecer la formación técnica de nuestros alumnos, fortaleciendo el perfil del egresado.

Además, los avances del proyecto enriquecen la enseñanza de la matemática en el ciclo básico, dado que a partir de ellos se redactan problemas que sirven como motivadores y

ejemplos para tratar problemas epistemológicos de la enseñanza.

**Modelo pedagógico:**

Como se expuso anteriormente, más allá de la intención de resolver un problema de interés para el contexto, se desea contribuir a la enseñanza de la matemática en carreras de ingeniería. El Consejo Nacional de Docentes de Matemática postula:

Los alumnos de todos los niveles deberían entender la matemática como un campo de investigación plenamente integrado, que apunta a ayudarlos a resolver problemas, razonar y hacer conexiones. Los alumnos deberían estar expuestos a numerosas y diversas experiencias interrelacionadas que los alienten a valorar la empresa matemática, a desarrollar hábitos mentales y comprender y valorar el papel de la matemática en los asuntos humanos; que debería motivárselos para explorar, calcular y hasta cometer y corregir errores para que tengan confianza en su capacidad para resolver problemas complejos; que deberían leer, escribir y discutir y que deberían conjeturar, probar y construir argumentos sobre la validez de una conjetura. (Stone Wiske, 1999, P.55)

Con esta aplicación intentamos acercar una propuesta que, recurriendo al auxilio de un sistema algebraico de cómputos (SAC), acerque a los alumnos la arista experimental de la matemática y así potencie, refuerce, ayude a integrar y relacionar aquellos temas que por su importancia y aplicabilidad es preciso simular. Entendemos que la comprensión de un modelo ayuda a valorizar la herramienta y la labor matemática.

**Recursos**

La NTCM en octubre de 2003, publica el documento “The Use of Technology in the Learning and Teaching of Mathematics”. Este expresa que la tecnología es una herramienta básica para la enseñanza y el aprendizaje efectivos de las matemáticas; amplía las matemáticas que se pueden enseñar y mejora el aprendizaje de los estudiantes. El documento se explaya aclarando que las nuevas tecnologías ayudan en la recolección, la organización, el tratamiento y el análisis de datos. Proporcionan visualizaciones convenientes, exactas, y dinámicas. Con tales herramientas los estudiantes pueden ampliar la gama y la calidad de sus investigaciones matemáticas y encontrar ideas matemáticas en ajustes más realistas.

En este trabajo el uso de SAC es relevante dado que la simulación de demanda y las propuestas de intervención necesitan de tediosos cálculos los que pueden ser programados y simulados.

**El tratamiento matemático del problema**

Con los datos de la Tabla 1 y Tabla 2 se generan las matrices

$$M1 := \begin{pmatrix} 0 & 21 & 66 & 6 & 21 & 9 & 42 \\ 0 & 3 & 143 & 24 & 39 & 6 & 60 \\ 0 & 15 & 33 & 12 & 15 & 6 & 6 \\ 3 & 27 & 69 & 12 & 39 & 3 & 36 \\ 9 & 86 & 498 & 77 & 206 & 42 & 221 \\ 3 & 21 & 149 & 33 & 51 & 15 & 54 \\ 0 & 3 & 15 & 3 & 12 & 0 & 9 \end{pmatrix}; \quad
 M2 := \begin{pmatrix} 0 & 239 & 752 & 68 & 239 & 102 & 478 \\ 0 & 34 & 1640 & 273 & 444 & 68 & 683 \\ 0 & 171 & 376 & 137 & 171 & 68 & 68 \\ 34 & 307 & 786 & 137 & 444 & 34 & 410 \\ 102 & 991 & 5705 & 888 & 2357 & 478 & 2528 \\ 34 & 239 & 1708 & 376 & 581 & 171 & 615 \\ 0 & 34 & 171 & 34 & 137 & 0 & 102 \end{pmatrix}; \quad
 M3 := \begin{pmatrix} 0 & 125 & 394 & 36 & 125 & 54 & 251 \\ 0 & 18 & 859 & 143 & 233 & 36 & 358 \\ 0 & 90 & 197 & 72 & 90 & 36 & 36 \\ 18 & 161 & 412 & 72 & 233 & 18 & 215 \\ 54 & 519 & 2990 & 465 & 1235 & 251 & 1325 \\ 18 & 125 & 895 & 197 & 304 & 90 & 322 \\ 0 & 18 & 90 & 18 & 72 & 0 & 54 \end{pmatrix};$$

total = M1 + M2 + M3;

Para contabilizar los pasajeros de cada modalidad se define, para luego usar, la función “suma”, cuya función será sumar todos los elementos de la matriz usada como argumento. Para facilitar la comprensión se lo realiza a través de tres entradas.

```
In[] matrizsumacolumna := {Table[1, {i, 1, 7}]}
In[] matrizsumafila := Table[{1}, {i, 1, 7}]
In[] suma[x_] := (matrizsumacolumna.x.matrizsumafila)[[1, 1]]
```

Así por ejemplo la entrada y salida siguientes expresan que diariamente 40961 pasajeros se movilizan de Santa Fe a Santo Tomé

```
In[] numerototal = suma[M1 + M2 + M3]
Out[] 40961
```

Se definen asimismo tres matrices “color”: verde, rojo y amarillo. Cada una de ellas contiene “1” en las zonas de tipos de viaje que corresponden al color indicado y “0” en las demás.

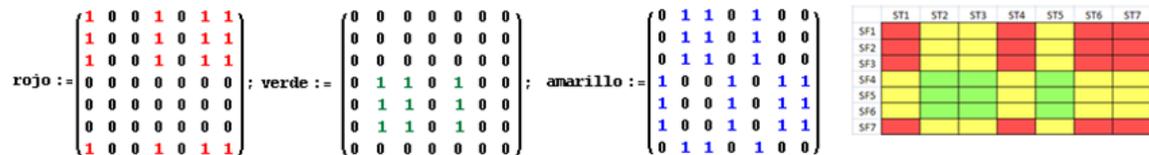


Figura 1: matrices color (verde, rojo y amarillo)

Estas matrices se combinarán con M1, M2 y M3 a través del producto asterisco “\*” del utilitario Mathematica. El producto “A\*B” entre las matrices A y B es una nueva matriz C de elemento genérico  $c_{ij} = a_{ij} b_{ij}$ . Notar que no es el producto tradicional entre matrices, producto punto “.” donde  $c_{ij} = \sum_{k=1}^n (a_{i,k} b_{k,j})$

Así, usando las matrices de la figura 1, diseñadas según la accesibilidad a la línea férrea según tabla coloreada (tabla 2) en la misma figura, es posible calcular “separadamente” la cantidad de viajes en cada modalidad hacia las distintas zonas.

Así las siguientes entradas permiten mostrar que combinando convenientemente los productos puntos (usados en la función suma) y asteriscos es posible calcular tanto la cantidad total de personas que se movilizan en colectivos (M3) como los que lo hacen en el mismo medio en las zonas de acceso directo-directo (verde).

```
In[] suma[M3]
Out[] 13324

In[] suma[verde * M3]
Out[] 6874
```

Se usa aproximación por mínimos cuadrados con el objetivo de lograr, en un primer análisis, que el transporte privado resulte no más del 50 % del total. Así se deberán

encontrar los coeficientes que ajusten la ecuación matricial  $a M_1 + b M_2 = \frac{1}{2} (M_1 + M_2 + M_3)$ . Las matrices  $M_1, M_2$  y  $M_3$  son datos y por ser de orden  $7 \times 7$  tienen 49 elementos. Luego, el problema se traduce a resolver, por mínimos cuadrados el sistema que cuenta con 49 ecuaciones y dos incógnitas (genéricamente  $a m_{1(i,j)} + b m_{2(i,j)} = 0,5 (m_{1(i,j)} + m_{2(i,j)} + m_{3(i,j)})$ ;  $i = 1, \dots, 7$ ;  $j = 1, \dots, 7$ ; el que matricialmente tendrá la expresión  $A_{49 \times 2} \begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} = Y_{49 \times 1}$

El punto inicial será usar las funciones del software para generar las matrices  $A_{49 \times 2}$  e  $Y_{49 \times 1}$  para luego resolver el sistema normal asociado  $A^T A \begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} = A^T Y$ , en el caso que  $A^T A$  sea regular, poder determinar los coeficientes  $a$  y  $b$  usando  $\begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} = (A^T A)^{-1} A^T Y$ .

Para evitar ingresar datos cada vez que se cambie alguno de ellos, utilizando funciones del soft, se generó el modelo que permitió resolver la situación planteada con los datos antes descriptos.

Esto es una herramienta para la toma de decisiones, por cuanto es posible, modificando los datos, plantear distintos hipotéticos escenarios.

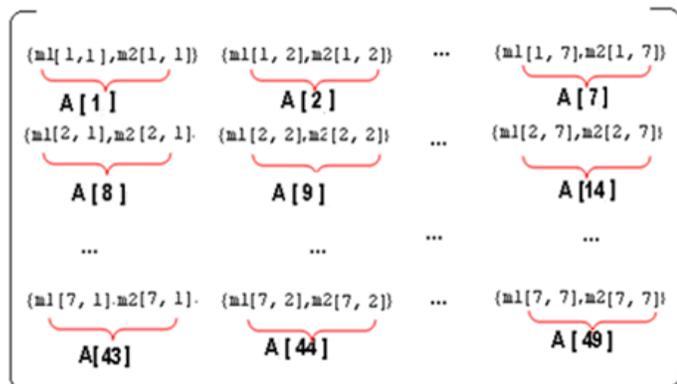
Es así que se escriben un grupo de sentencias para que se genere la matriz  $A$ , cuales quieran sean las matrices de datos  $M_1, M_2$  y  $M_3$ . A modo de ejemplificación, en la figura 2 se muestra esquemáticamente el razonamiento en la programación de las sentencias (con sus respectivas entradas y la salida).

Resolviendo el sistema normal asociado se obtienen, para las matrices de los datos originales, la constantes  $a = 0,7737$  y  $b = 0,7381$ . Lo cual se interpreta que se deberá reducir a un 77,37 % de pasajeros que usan motos y a un 73,81% de los que usan autos si se desea lograr que sólo el 50 % del transporte sea privado. Cabe mencionar que obviamente, esta no es la única solución que se pudo ensayar, pero si es la que genera una “matriz de viaje en medios privados” lo más semejante a la mitad de los viajes totales con la distribución actual.

La figura 3 muestra las matrices “estimada”, “deseada” y la diferencia entre ambas. Ésta última muestra que el resultado encontrado se asemeja mucho al buscado

■ Sistema  $aM1 + bM2 = 0.5(M1 + M2 + M3)$

```
in[ ]:=elemento [i_, j_] := {M1[[i, j]], M2[[i, j]]}
```



■ Definición de las matrices **A** e **Y**

```
in[ ] := an[n_] := elemento [Floor[(n - 1) / 7] + 1, If[Mod[n, 7] == 0, 7, Mod[n, 7]]]
in[ ] := A := Table[an[n], {n, 1, 49}]
in[ ] := r := 0.5 (M1 + M2 + M3)
in[ ] := y[n_] := r [[Floor[(n - 1) / 7] + 1, If[Mod[n, 7] == 0, 7, Mod[n, 7]]]]
in[ ] := Ym := Table[y[n], {n, 1, 49}]
```

■ Visualizar las matrices **A** e **Y**

```
in[ ] := {A // MatrixForm, Ym // MatrixForm}
```

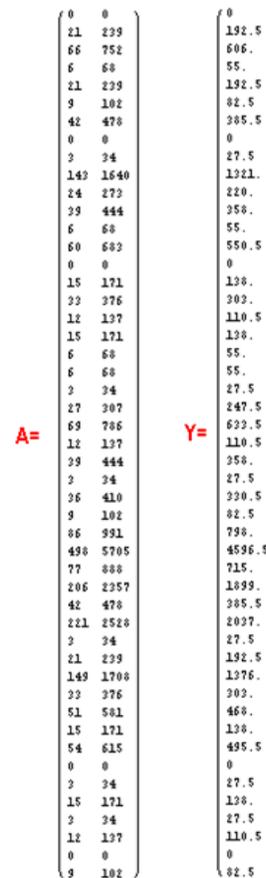


Figura 2: Síntesis de entradas programadas que determinan solución aproximada.

En la segunda parte del problema se propone que los viajes que deberán reducirse del transporte actual (7158) para “mudarlo” al metro, serán deducidos de los medios privados de transporte, dado que por políticas de gestión no se desea disminuir los pasajeros de colectivo, situación respetada en este análisis.

$a M1 + b M2$	$0,5 (M1+M2+M3)$	Diferencia
$\begin{pmatrix} 0 & 192 & 606 & 55 & 192 & 82 & 385 \\ 0 & 27 & 1321 & 220 & 358 & 55 & 551 \\ 0 & 138 & 303 & 110 & 138 & 55 & 55 \\ 27 & 247 & 624 & 110 & 358 & 27 & 230 \\ 82 & 798 & 4596 & 715 & 1899 & 385 & 2037 \\ 27 & 192 & 1376 & 303 & 468 & 138 & 496 \\ 0 & 27 & 138 & 27 & 110 & 0 & 82 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0 & 192 & 606 & 55 & 192 & 82 & 386 \\ 0 & 28 & 1321 & 220 & 358 & 55 & 550 \\ 0 & 138 & 303 & 110 & 138 & 55 & 55 \\ 28 & 248 & 624 & 110 & 358 & 28 & 230 \\ 82 & 798 & 4596 & 715 & 1899 & 386 & 2037 \\ 28 & 192 & 1376 & 303 & 468 & 138 & 496 \\ 0 & 28 & 138 & 28 & 110 & 0 & 82 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$

Figura 3: Matriz estimada, matriz deseada, diferencia.

Por razones de espacio no se detallarán los demás situaciones simuladas, solo se resumirá los resultados encontrados en la nueva distribución de viajes, en el que se tomó como premisa:

- el 50 % de los viajes se harán usando medios privados (motos y autos) y el otro 50% usando transporte público (metro y colectivo)
- no afectar la matriz de viajes de colectivo,

- formando la matriz de viajes en metro restando pasajeros a las zonas verdes, proporcionalmente a los actuales de las dos modalidades de viajes privados.

La primera de las premisas responde a las recomendaciones de manuales para sistemas de transportes sustentables, la segunda a una cuestión política mientras que la tercera responde a la idea que es mucho más probable y sustentable persuadir del cambio de medio de transporte a los pasajeros de las zonas verdes que a los de la roja.

Imprimiendo finalmente las matrices modeladas serán:

$$\begin{array}{l}
 \text{Moto=} \begin{pmatrix} 0 & 21 & 66 & 6 & 21 & 9 & 42 \\ 0 & 3 & 143 & 24 & 39 & 6 & 60 \\ 0 & 15 & 33 & 12 & 15 & 6 & 6 \\ 3 & 12 & 30 & 12 & 17 & 3 & 36 \\ 9 & 38 & 219 & 77 & 90 & 42 & 221 \\ 3 & 9 & 65 & 33 & 22 & 15 & 54 \\ 0 & 3 & 15 & 3 & 12 & 0 & 9 \end{pmatrix} \\
 \\
 \text{Bus=} \begin{pmatrix} 0 & 125 & 394 & 36 & 125 & 54 & 251 \\ 0 & 18 & 859 & 143 & 233 & 36 & 358 \\ 0 & 90 & 197 & 72 & 90 & 36 & 36 \\ 18 & 161 & 412 & 72 & 233 & 18 & 215 \\ 54 & 519 & 2990 & 465 & 1235 & 251 & 1325 \\ 18 & 125 & 895 & 197 & 304 & 90 & 322 \\ 0 & 18 & 90 & 18 & 72 & 0 & 54 \end{pmatrix} \\
 \\
 \text{Auto=} \begin{pmatrix} 0 & 239 & 752 & 68 & 239 & 102 & 478 \\ 0 & 34 & 1640 & 273 & 444 & 68 & 683 \\ 0 & 171 & 376 & 137 & 171 & 68 & 68 \\ 34 & 156 & 399 & 137 & 225 & 34 & 410 \\ 102 & 503 & 2894 & 888 & 1196 & 478 & 2528 \\ 34 & 121 & 867 & 376 & 295 & 171 & 615 \\ 0 & 34 & 171 & 34 & 137 & 0 & 102 \end{pmatrix} \\
 \\
 \text{Metro=} \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 166 & 426 & 0 & 241 & 0 & 0 \\ 0 & 536 & 3090 & 0 & 1277 & 0 & 0 \\ 0 & 130 & 925 & 0 & 315 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}
 \end{array}$$



La cantidad total de movilizados en cada medio serán

$$\begin{array}{ll}
 \text{Cantidad de viajes en Moto=} 1579 & \text{Cantidad de viajes en Bus=} 13324 \\
 \text{Cantidad de viajes en Auto=} 18952 & \text{Cantidad de viajes en Metro=} 7106
 \end{array}$$

Por último, es posible decir que este modelado podemos considerarlo en un escenario conservador en la implementación del Metro, ya que apostarán a él solo un porcentaje reducido de pasajeros: aproximadamente el 17(%) del total; equivalente a un 33,6% del total de los movilizados en la zona verde. Es de destacar que un escenario posible en la implementación del Metro podría implicar que todos los viajeros de la zona verde (21138) decidan utilizar el Metro como modo de transporte.

### Resultados

A través de este trabajo se propone solucionar el problema del tránsito existente en la interconexión vial de la zona metropolitana de Santa Fe, pues permite inferir que al implementar el nuevo modo “Metro”, se reducirá en la interconexión vial existente 540 motos y 3800 autos (considerando una ocupación media de 1.2 pasajeros por moto y de 1.7 pasajeros por automóvil).

Estas conclusiones serán de gran utilidad para la toma de decisiones pues como todo modelo es una herramienta de gran importancia para el planificador, ya que permite simular escenarios de actuación que ayudan a evaluar distintas alternativas para las autoridades competentes.

Concebir soluciones novedosas y seguras para la movilidad, a partir del mejor aprovechamiento de los recursos, permite la aplicación de técnicas constructivas y opciones

tecnológicas que pueden integrarse y conformar el sistema de transporte, agregando innovación a partir de la investigación.

Por lo tanto, escenarios similares sin esta herramienta serían muy difícil de realizar, desde la primera matriz de origen-destino hasta la proyección de futuros escenarios futuros.

Este esquema puede ser replicado para distintos escenarios, incluyendo el concepto de quitar un porcentaje (al colectivo e incluso el 100% para modelar casos tales como paro de buses). Esto permitirá estudiar sistemas de transportes de similares características en otras ciudades o áreas metropolitanas.

La herramienta de modelado se puede utilizar con nuevos datos (dado que el parque automotor y el de moto cambió sustancialmente pero el de colectivos no).

Más allá de resolver el problema concreto esta propuesta pretende generar material motivador para usar en cátedras tales como Álgebra y Geometría Analítica y/o Cálculo Avanzado.

Pretende además atender el pedido de docentes de las asignaturas de las distintas especialidades en que el estudiante conozca lenguajes de programación o al menos la lógica que los sustenta.

En el aula de matemática los estudiantes asocian su actividad con la resolución de ejercicios o problemas que tienen siempre una única respuesta, la que se alcanza aplicando un algoritmo conocido (generalmente relacionado con el tema en desarrollo). Incorporar propuestas de este tipo, donde un grupo de jóvenes deba tomar decisiones con criterio ingenieril, donde las respuestas no sean únicas y que puedan, con sus pares o docentes, defender la sustentabilidad de sus ideas, siempre respaldadas con un criterio matemático, contribuye a valorar la matemática.

El estudiante pone en juego los conocimientos. La computadora es la herramienta que le permite visualizar rápidamente su diseño, variar parámetros, combinar, descartar o elegir posibilidades. Esto lleva a advertir que la matemática no sólo es una ciencia axiomática, deductiva y exacta sino que además cuenta con una arista experimental. Confiamos en que acercar a los estudiantes a estos escenarios es un aporte al desarrollo de competencias tecnológicas (Mastache, 2007) ya que plantean identificar, formular y resolver problemas de ingeniería; realizar el diseño de una solución, incluyendo el modelado; incorporar al diseño las dimensiones del problema, (tecnológica, temporal, económica, medioambiental, social) que son relevante en nuestro contexto (recomendaciones CONFEDI, revista 2006).

### Referencias Bibliográficas

- Balacheff, N. (1999). Ventajas sobre el significado de las matemáticas. Culturas de aprendizaje y computadores. *Revista EMA*. Investigación e innovación en educación matemática. Volumen 4. 18-24.
- Mastache, A. (2007): "Formar personas competentes. Desarrollo de competencias tecnológicas y psicosociales". Buenos Aires: Ediciones Novedades Educativas.

- Stone Wiske, M. (1999) *La enseñanza para la comprensión. Vinculación entre la investigación y la práctica*. Buenos Aires: Paidós.
- Zamorano C., Bigas, J.M., Sastre,J. (2004). *Manual para la planificación, financiación, e implantación de sistemas de transporte urbano*. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Consorcio Regional de Transporte de Madrid. Madrid: Graffoffset.
- Documento final de Competencias Genéricas de Ingeniería aprobado en la XL Reunión Plenaria de CONFEDI de Bahía Blanca, 2006. Recuperado el día 10 de abril de 2012 en [http://www.frbb.utn.edu.ar/comun/secretaria\\_academica/Competencias\\_CONFEDI.pdf](http://www.frbb.utn.edu.ar/comun/secretaria_academica/Competencias_CONFEDI.pdf)
- Documento “The Use of Technology in the Learning and Teaching of Mathematics” generado por National Council of Teachers of Mathematics. Recuperado el día 10 de abril de 2012 en <http://www.nctm.org/about/content.aspx?id=6360>
- PID “Análisis de la implementación de una línea ferrea mediante la utilización de herramientas matemáticas” recuperdaod el día 10 de abril de 2012 en <http://sicyt.scyt.rec.utn.edu.ar/scyt/proyectos/indiceC.asp>