

Guía al usuario de TRANUS

TRANUS: Sistema de Modelos Integrados de Usos del Suelo y Transporte

Colaboradores:
Tomás de la Barra
Última actualización Diciembre 2014

Contenido

1	Introducción: propósito de la guía	1
2	Instalación del software	2
3	Cómo iniciar una aplicación desde cero	3
3.1	Introducción libre de nodos y arcos	3
3.2	Utilizando una base georeferenciada.....	12
3.3	Importando redes	14
3.4	Importando una red de un sistema de información geográfica SIG	19
4	Diseño de la aplicación.....	20
4.1	Aplicación integral o sólo transporte	20
4.2	Zonificación.....	22
4.3	Sectores socioeconómicos y categorías de transporte	24
4.3.1	Sectores socioeconómicos.....	25
4.3.2	Relaciones intersectoriales	26
4.3.3	Categorías de transporte	39
4.3.4	Relación entre sectores y categorías	39
4.4	Modos, operadores y rutas	39
4.5	Tipos de vía y administradores.....	39
4.6	Rutas de transporte público.....	39
4.7	Codificación de la red viaria multimodal.....	39
4.8	Tarifas integradas.....	39
4.9	Viajes exógenos	39
5	Calibración.....	40
5.1	Construcción de pasos	40
5.2	Transporte inicial	40
5.3	Coeficientes intersectoriales.....	40
5.4	Funciones de demanda elásticos	40
5.5	Funciones de distribución de la producción.....	40
5.6	Funciones de generación de viajes	40
5.7	Ajustes al reparto modal y la asignación.....	40
6	Proyecciones.....	41
6.1	Definición de escenarios	41
6.2	Proyecciones macroeconómicas	41
6.3	Proyección de variables de transporte.....	41
6.4	Cálculo de los escenarios y reporte de resultados	41

7	Evaluación	42
7.1	Procedimiento de evaluación en TRANUS.....	42
7.2	Beneficios a los usuarios	42
7.3	Beneficios a los productores	42
7.4	Tabla de costos y beneficios: B/C, TIR y VAN	42
7.5	Emisiones	42

1 Introducción: propósito de la guía

El sistema de modelos TRANUS permite la simulación de una amplia gama de ciudades o regiones a diversas escalas y con múltiples propósitos. La orientación dada al diseño del sistema es, precisamente, permitir una amplia gama de aplicaciones. Para ello, la estrategia adoptada fue un software muy flexible que el usuario puede adaptar a cualquier realidad. Esta gran flexibilidad conlleva, sin embargo, la necesidad de contar con una guía que oriente al usuario del modelo. El propósito de esta guía es, precisamente, orientar al usuario en el uso de los modelos para el fin que pretenda darle a ellos. Para ello se tratarán aquí diversos temas, pautas y consejos útiles para que la aplicación sea lo más fácil posible.

Hay varios complementos a esta guía, todos disponibles del *site* de TRANUS, entre los cuales merece destacar:

- **Descripción Matemática y Algorítmica.** En este documento se encuentra una descripción detallada y exhaustiva de la formulación matemática detrás de los programas. Se ha hecho un esfuerzo para lograr una consistencia total entre este documento y los programas. Muchos usuarios han contribuido en este esfuerzo. Sin embargo de la formulación propiamente tal no se desprende de manera inmediata la forma en que debe ser utilizado el sistema
- **Guía al Usuario de la Interfaz Gráfica TUS.** La interfaz es la herramienta fundamental para el usuario del modelo, de tal manera que esta guía provee bastante información acerca del uso del sistema. Pero naturalmente no puede describir la forma en que se debe definir una aplicación. Por ejemplo, este documento explica cómo se definan las zonas en el sistema, pero no indica cuáles son los criterios para definir el número y las características de las zonas.
- **Guía de Aplicación de TRANUS a Swindon.** Este documento se acerca mucho más a lo que debe ser una guía al usuario, ya que describe en detalle una aplicación bastante completa y compleja. Sin embargo se refiere a una aplicación específica, no necesariamente aplicable a otras realidades.
- **Tutoriales.** Este es un documento muy útil para quienes comienzan a familiarizarse con el sistema TRANUS. Utiliza ejemplos muy sencillos para explicar el uso del sistema.

Esta guía de aplicaciones reúne diversas contribuciones gracias a la generosidad de los usuarios en diversos lugares del mundo. Se espera, entonces, que éste sea un documento dinámico en permanente crecimiento. Desde ya se invita a todos a participar. Se recogen aquí también muchos comentarios realizados en el foro de TRANUS, a lo largo de varios años.

Como se verá, hay muchos capítulos vacíos que no se han desarrollado aún. Estos se irán completando poco a poco.

2 Instalación del software

La instalación del sistema TRANUS es muy sencilla. En el site www.tranus.com se indica el lugar de hacer la descarga de dos archivos: `tranus_xxx.exe` y `tus_xxx.exe`. Se trata de los típicos instaladores de Windows, en donde xxx indica la versión. Pueden ser ejecutados directamente, o se les puede guardar en el disco duro y proceder a instalarlos después. Se pueden instalar en cualquier orden. Por defecto los programas se instalarán en una carpeta `c:tranus`, pero el usuario puede especificar cualquier otra localización.

3 Cómo iniciar una aplicación desde cero

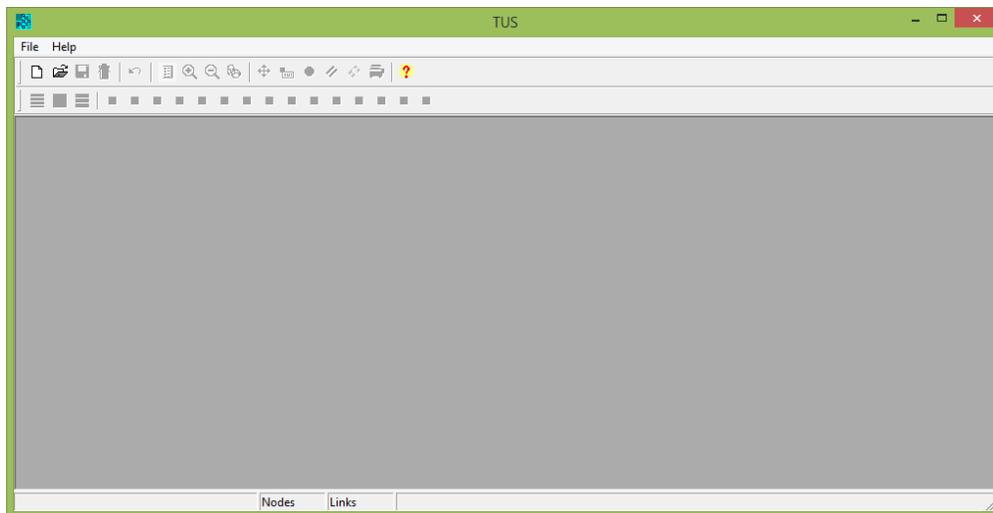
Aquí se describen algunas de las muchas maneras de iniciar una nueva aplicación de TRANUS:

- Introducir libremente nodos y arcos para crear una red sin importar las coordenadas geográficas
- Utilizar coordenadas geográficas más precisas, como por ejemplo, UTM
- Importar redes

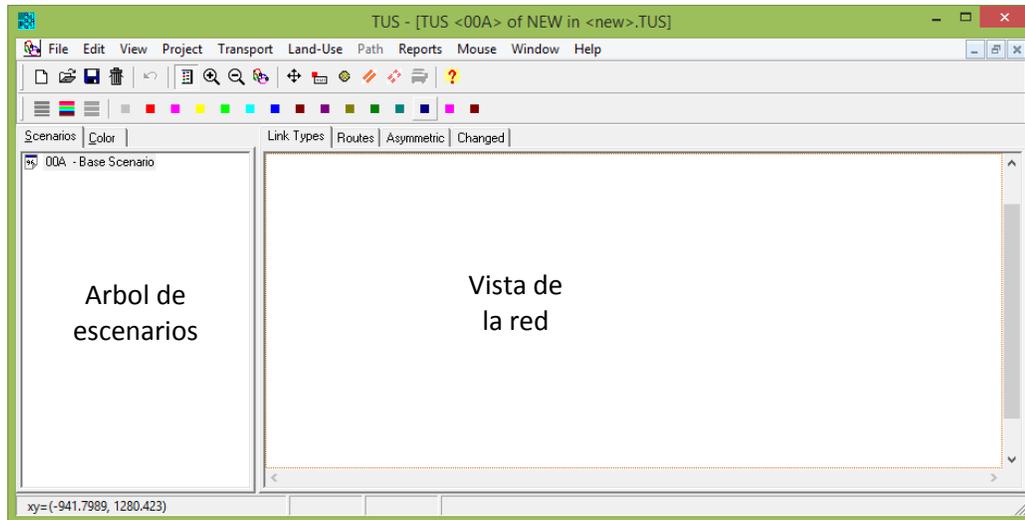
3.1 Introducción libre de nodos y arcos

Una vez instalados los programas, se está listo para comenzar una aplicación. Se puede abrir una aplicación existente, como cualquiera de los tutoriales, o se puede comenzar una nueva aplicación desde cero.

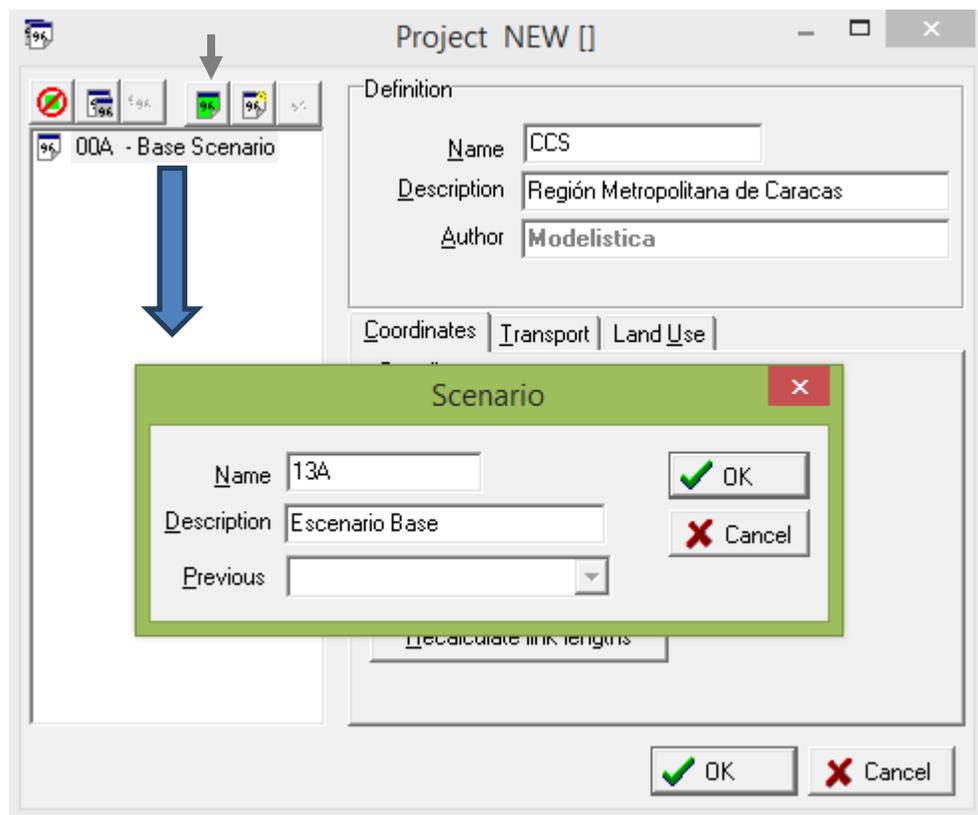
Cuando se abre la interfaz de TRANUS interface, aparece una ventana en blanco con menus y botones como la siguiente:



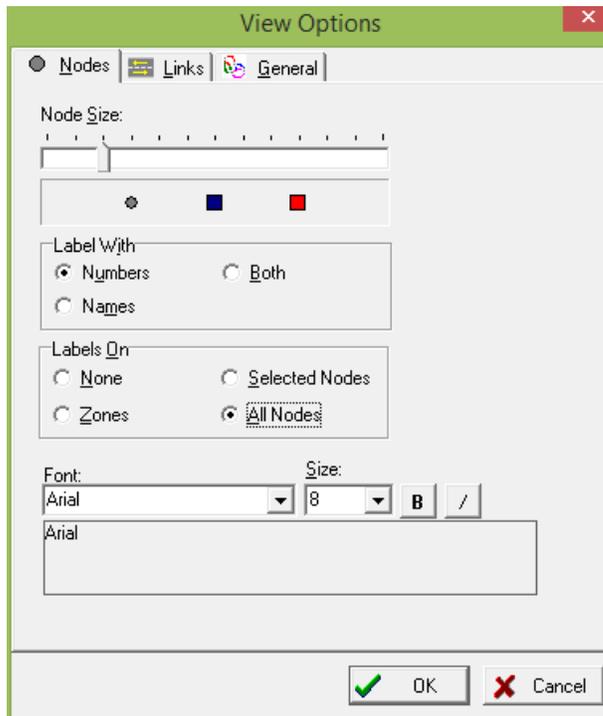
El único menú visible es *File*. Seleccione *File* y luego *New*. Esto genera una *vista de red*, un *árbol de escenarios* y varios menús, de la siguiente manera:



Naturalmente en la vista de la red no hay nada y por defecto se ha creado un único escenario denominado 00A – Base Scenario. En el menú *Project-options* se puede cambiar esto. Supongamos que nuestro año base es el 2013 y queremos algo más relevante como LMA para Lima o CCS para Caracas. Para cambiar el nombre del escenario selecciónelo y luego haga clic en la herramienta verde arriba llamada Edit Scenario.



Como 13A es el base, no tiene un escenario 'previous'. Ahora vamos a generar una red simple, para lo cual debemos comenzar por crear nodos. El problema con los nodos nuevos es que no son visibles hasta que se conecten entre sí con arcos. La única manera para verlos es que utilicemos la vista llamada *Changed*. Una vez en esta vista utilice la herramienta *Create Node*  que está arriba y luego haga doble-clic en algún punto de la ventana de red. Para ver mejor los nodos se puede utilizar el menú *View Options*. Aquí se puede agrandar la representación de los nodos y se les puede etiquetar con números.

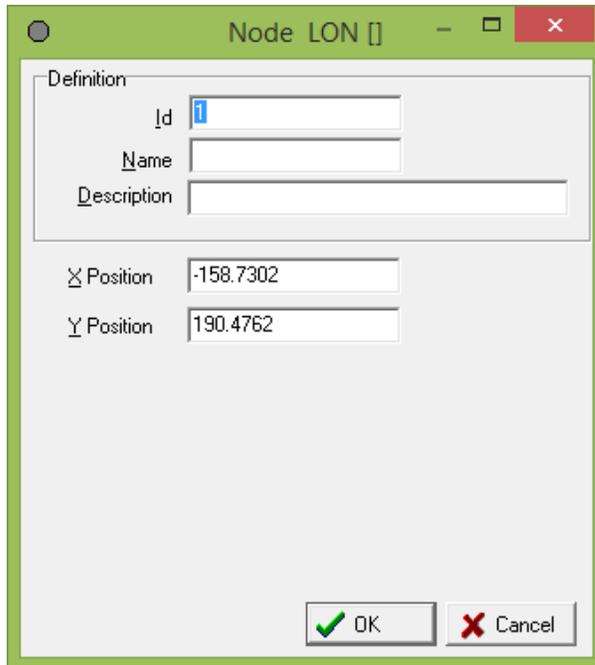


Mueva la regleta *Node Size* a la derecha para que los nodos aparezcan más grandes, y luego seleccione *Label With Numbers* y *Labels On All Nodes*.

Esta es la herramienta para crear nodos:



Selecciónela y luego haga doble-clic en la vista de la red en algún lugar. Aparecerá una ventana sugiriendo un número de identificación y un par de coordenadas. Dado que en este caso sencillo no estamos utilizando coordenadas realistas, las coordenadas pueden ser cualquier cosa. Because in this simple case we are not dealing with geographical coordinates, they can be anything. Naturalmente se pueden especificar coordenadas reales con lo cual todo el mapa de la red estará a una escala específica.



Node LON []

Definition

Id 1

Name

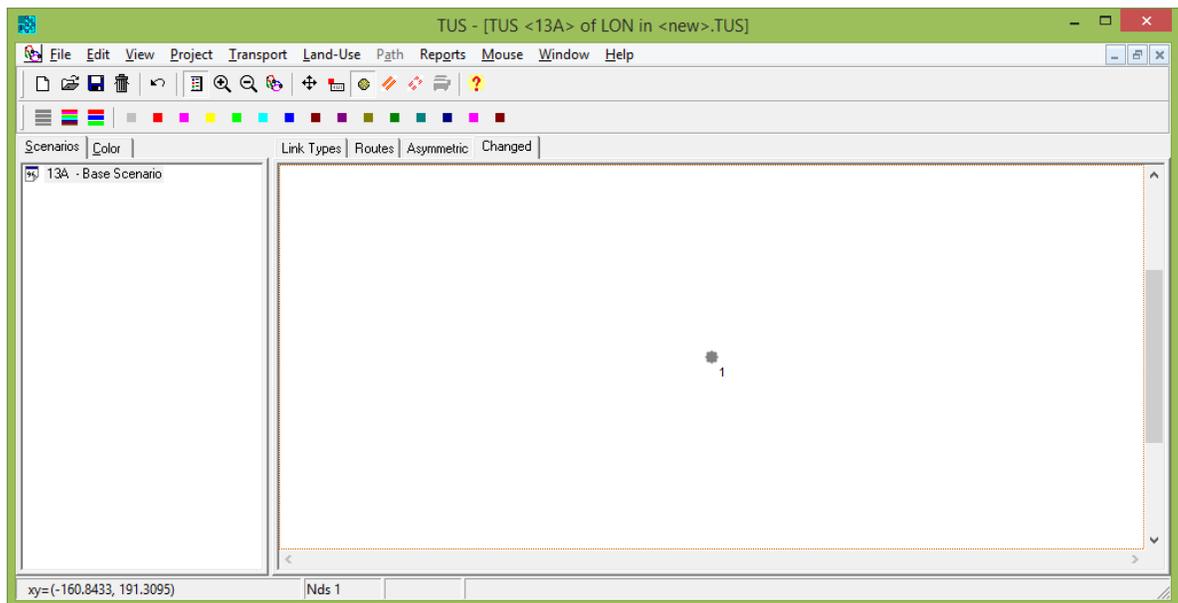
Description

X Position -158.7302

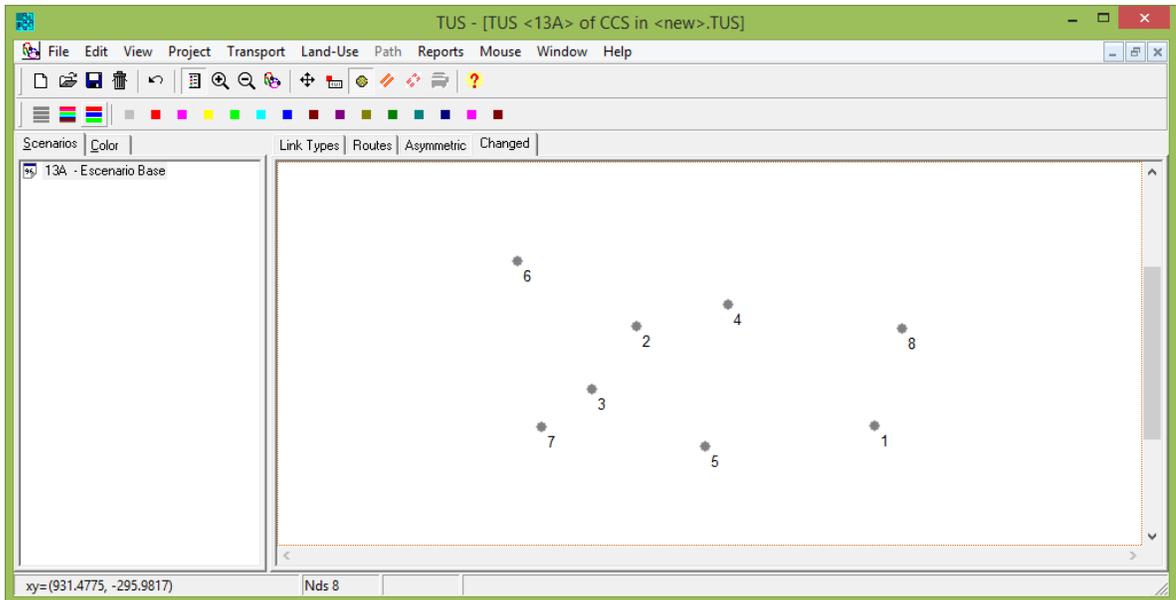
Y Position 190.4762

OK Cancel

Después de OK la red se verá de la siguiente manera:

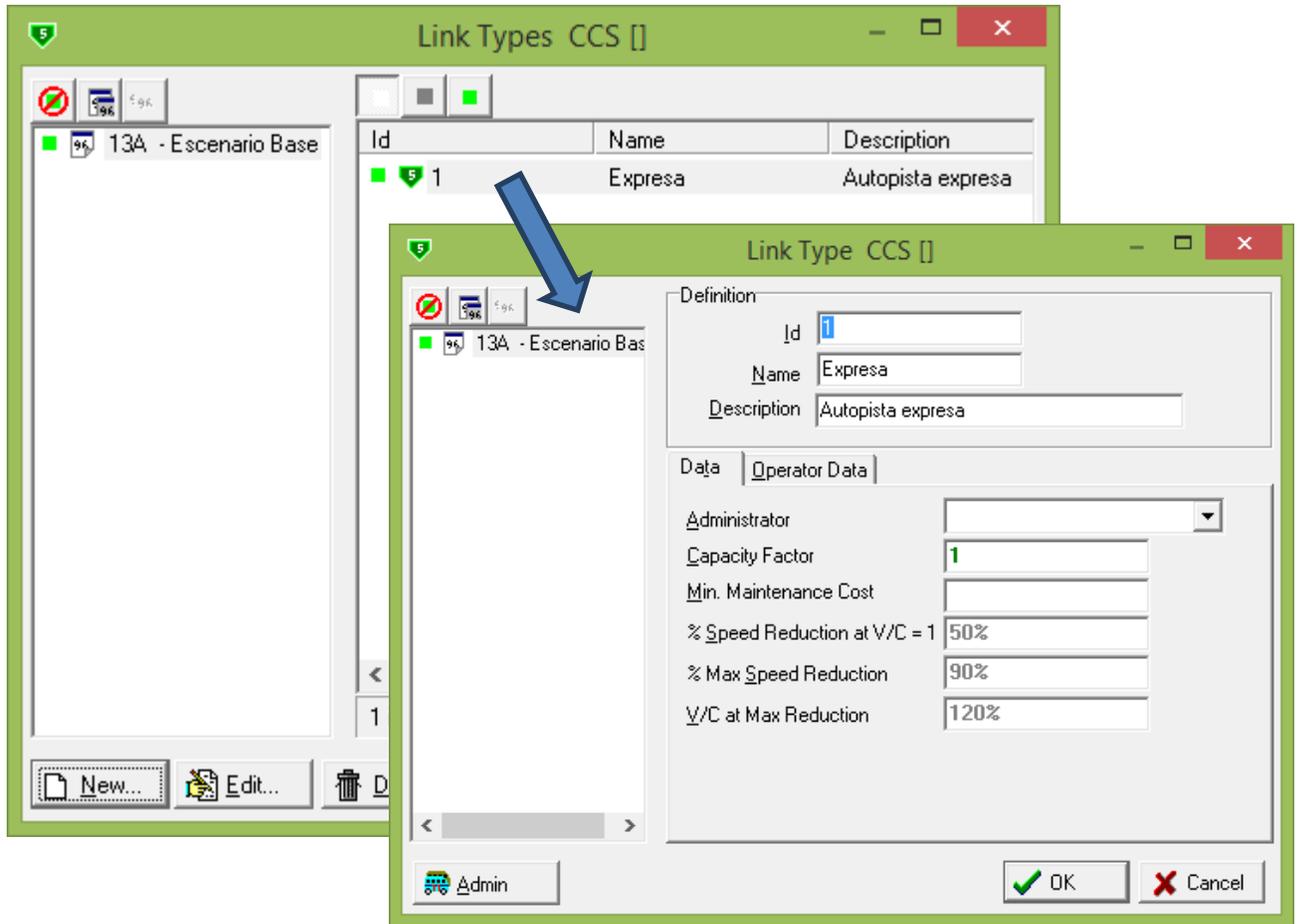


¡Felicitaciones! Usted acaba de crear su primer nodo en TRANUS. Luego proceda a crear varios nodos en diferentes lugares. Al final la ventana de red se verá algo como así:



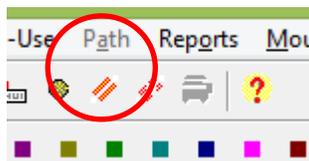
Estamos listos para crear arcos que conecten estos nodos. Los arcos pertenecen a tipos de arcos, de tal manera que es buena práctica crear tipos de arcos antes de crear los arcos mismos. De todas maneras es posible crear los arcos primero y asignarle tipos de arcos después.

Para crear tipos de arcos utilizamos el menú Transport – Link Types. La lista estará vacía, de tal forma que se deberá comenzar por utilizar el botón *New*. Esto hará saltar una nueva ventana para especificar las características del Nuevo tipo de arco:

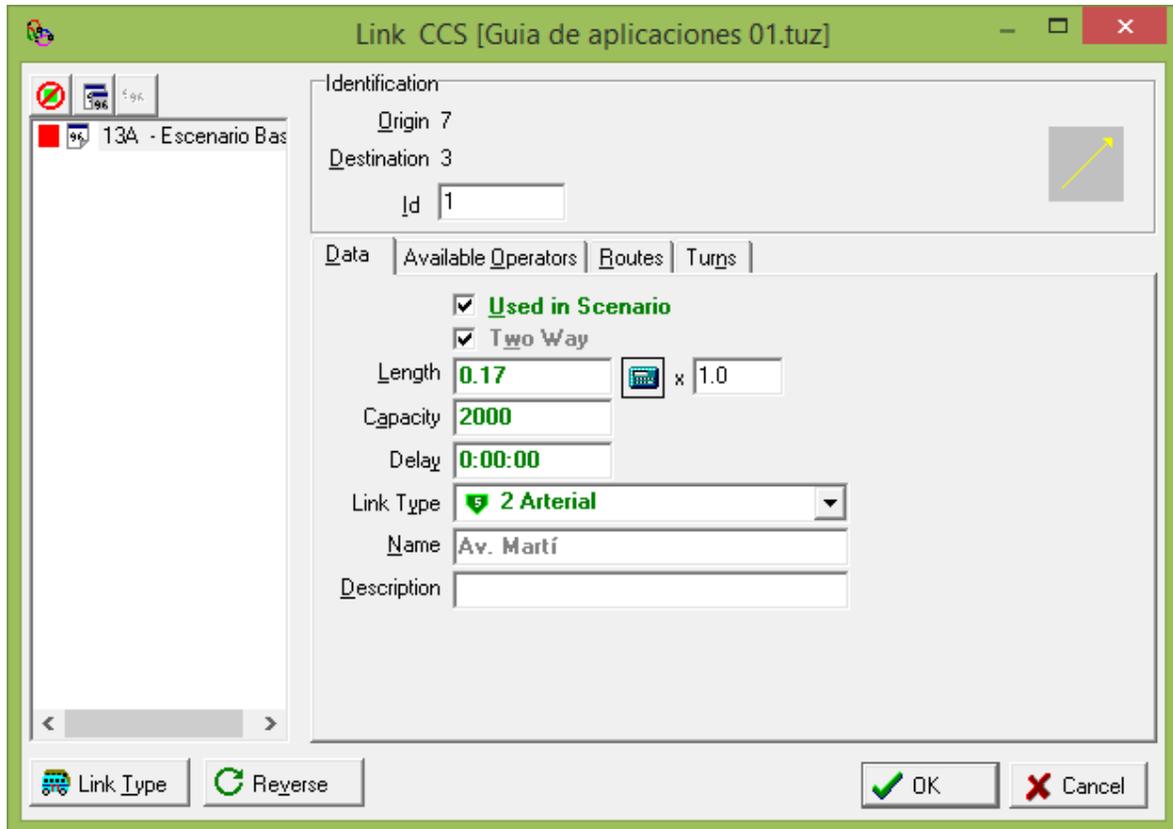


Por los momentos solo le podemos asignar un número de identificación (Id), un nombre y una descripción. Le asignaremos un factor de capacidad = 1. Se puede continuar definiendo más tipos de vía como por ejemplo arteriales y locales. Cada vez que se crea un nuevo tipo de vía el programa le asigna automáticamente un número correlativo, pero éste se puede cambiar en cualquier momento.

Ahora regresamos a la red para crear los arcos, para lo cual utilizamos la herramienta *Create Link*.



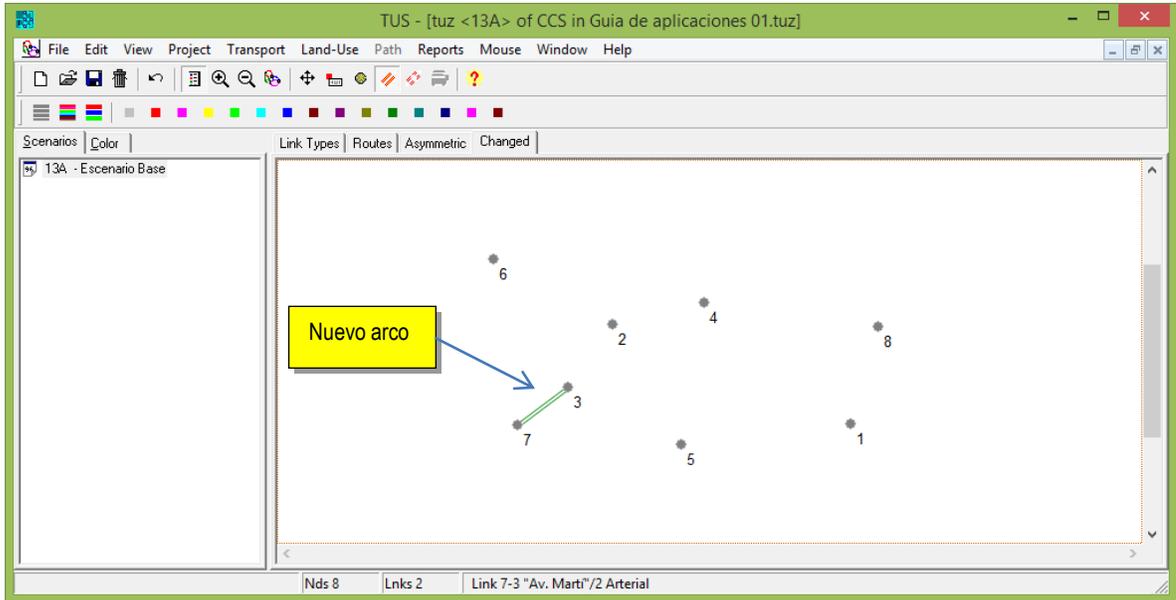
Mueva el cursor y sitúelo sobre el nodo que se quiere que sea el origen del arco. Notará que el cursor cambia al encontrar un nodo. Pulse una sola vez y luego mueva el cursor hasta el nodo que se desea sea el destino del arco, y luego pulse nuevamente sobre él. Una ventana aparecerá para especificar las características del enlace que se acaba de definir:



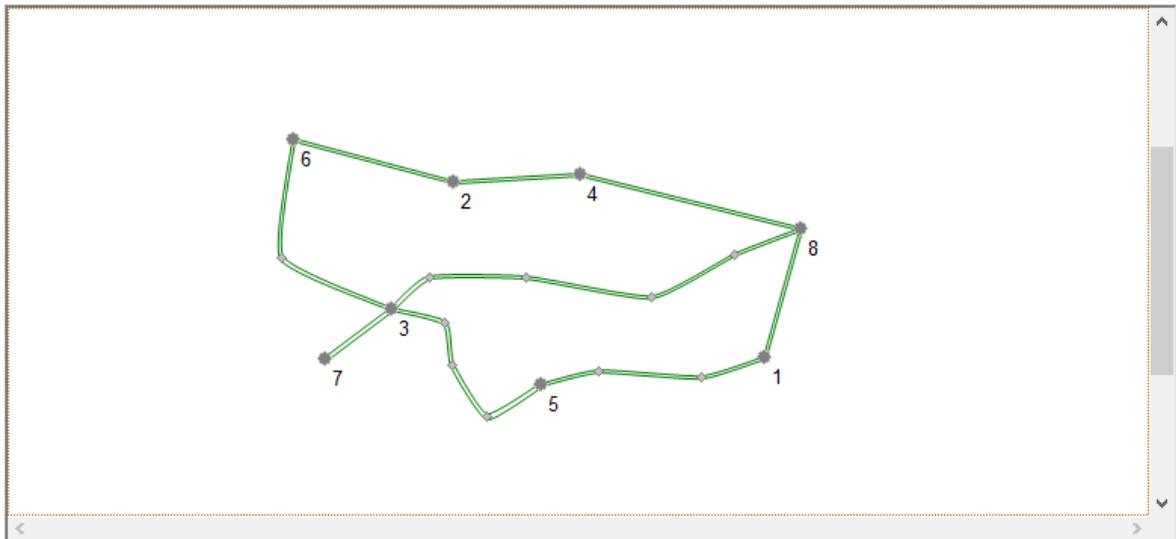
En este ejemplo hemos creado un enlace o arco entre el nodo 7 y el nodo 3 con las siguientes características:

- Capacidad de 2000
- Para asignar un tipo de vía utilice la lista desplegable en donde aparecen todos los tipos de vía definidos hasta ahora. Elegimos el tipo 2 Arterial
- Le hemos asignado un nombre
- La longitud del enlace fue creada automáticamente sobre la base de las coordenadas de los dos nodos. En este primer ejercicio sencillo las coordenadas no significan nada, de tal manera que la longitud tampoco será significativa. Es posible reemplazar la longitud calculada automáticamente, pero lo dejaremos así por los momentos.
- El campo *Two Way* está seleccionado por defecto, de tal manera que se creará una vía en doble sentido. Puede quitarse esta selección si lo que se desea es crear una vía unidireccional, desde el nodo de origen al nodo de destino.
- La pequeña flecha amarilla arriba a la derecha indica que el arco 7-3 va hacia arriba

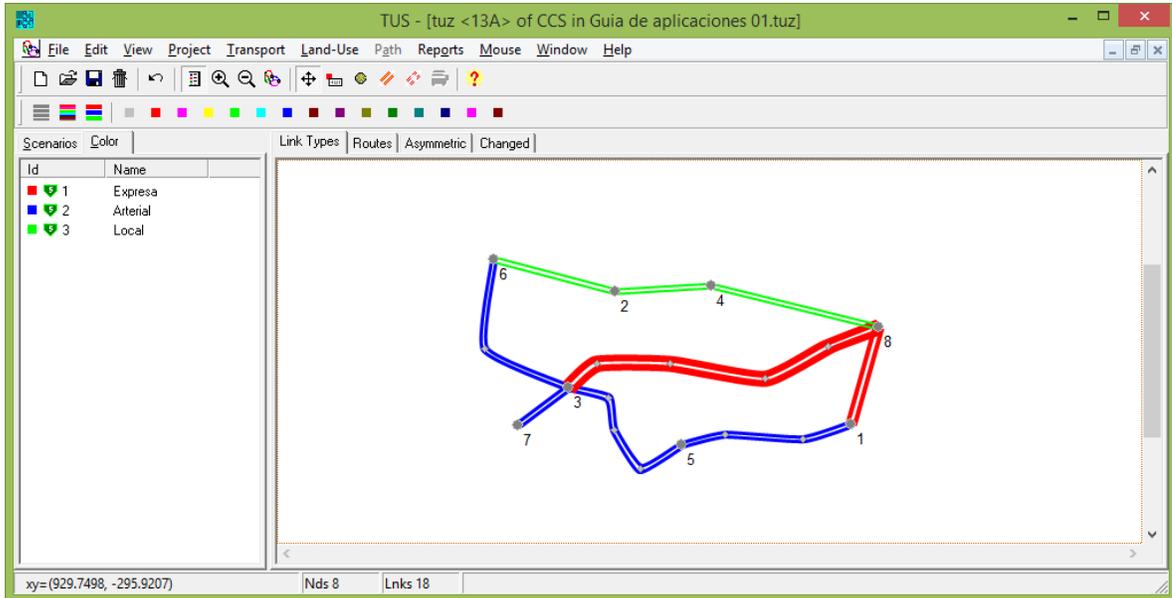
Nótese que hay un pequeño cuadrado rojo en el árbol de escenarios, lo cual indica que hay algo malo en el enlace que estamos a punto de crear. Esto es porque el enlace en cuestión no está conectado a ningún otro enlace. Esto se irá corrigiendo a medida que completemos la red. La vista de la red debería verse ahora así:



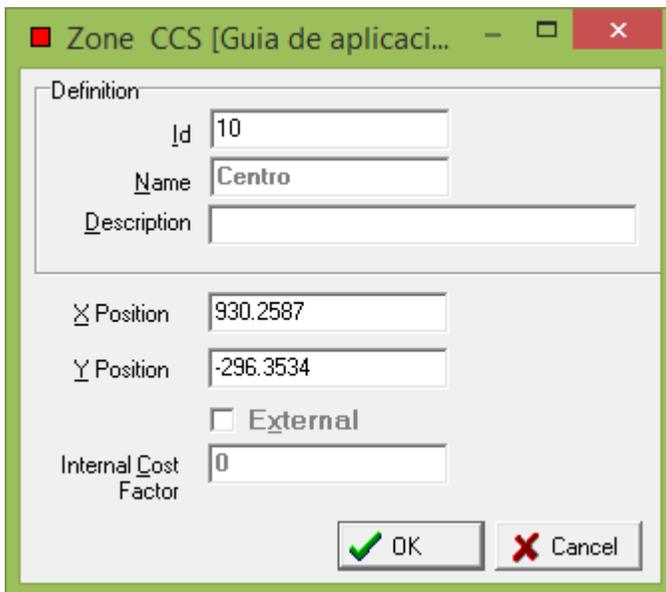
Ahora podemos proceder a crear más arcos. Al crear un arco podemos hacer clic en el nodo de origen y luego hacer varios clics intermedios hasta llegar al nodo de destino, lo cual es ideal para representar vías con curvas. Al final la red puede verse algo así como lo siguiente:



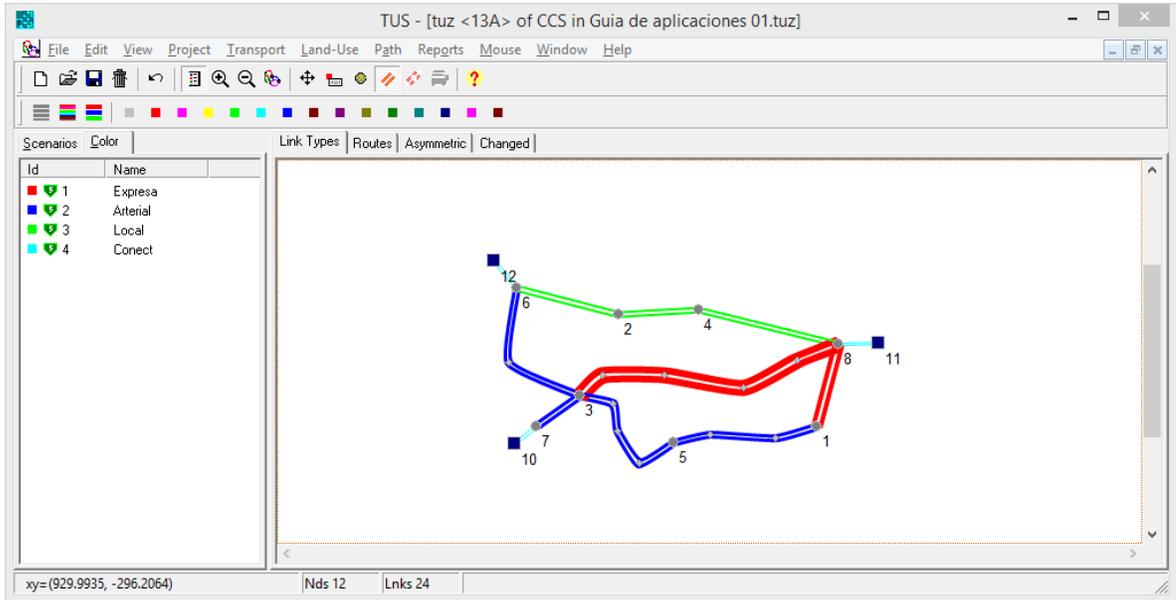
Ahora podemos regresar a la vista *Link Type view* de la red, y asignar colores. Deberá aparecer la lista de tipos de vía que acabamos de crear. Se puede seleccionar un tipo de vía de la lista y asignarle un color a gusto, o se puede seleccionar una paleta que le asigna automáticamente un color a cada tipo. La representación de la red puede ser refinada en el menú *View-Options-Links*. El *Width Factor* ajusta el grosor de cada vía de acuerdo a su capacidad. Seleccionando un factor de 1000, esto es lo que se debería obtener:



Ahora vamos a crear centroides, que son los puntos de la red de donde salen o donde terminan los viajes. Pero antes de esto vamos a crear un nuevo tipo de vía que llamaremos Conector de Zonas. Luego de esto vamos a crear tres centroides, lo cual se hace exactamente igual a cualquier otro nodo pero en lugar de hacer clic hacemos Ctrl+clic. El cursor cambiará de un pequeño círculo a un cuadrado, y al hacerlo, aparece una ventana donde se puede especificar un nombre y descripción:



Le hemos puesto el número 10 para distinguirlo de los nodos. Continúe de esta manera para crear los otros dos centroides. Si los centroides no aparecen, utilice el botón redibujar o F9. A continuación utilice la herramienta *Create Link* y conecte cada centroeide con el nodo más cercano. En este caso especifique que la capacidad es 'INF' que el modelo interpreta como indeterminada o infinita. Al final la red deberá tener un aspecto como el que sigue:

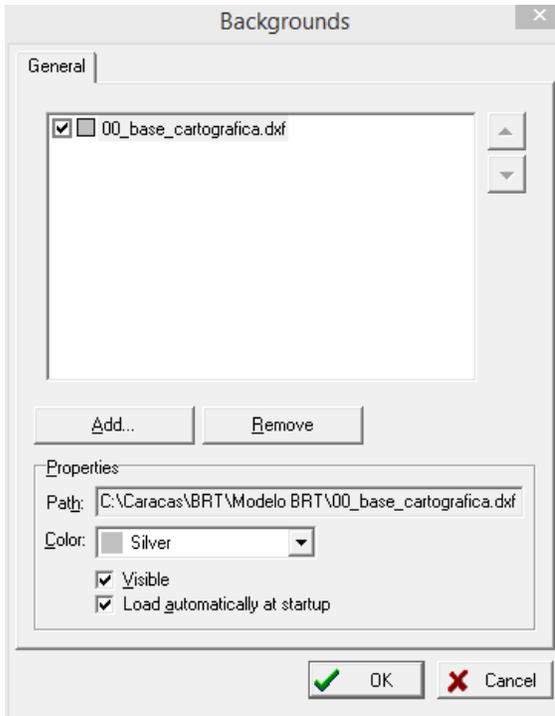


¡Felicitaciones! Usted acaba de crear exitosamente su primera red en TRANUS.

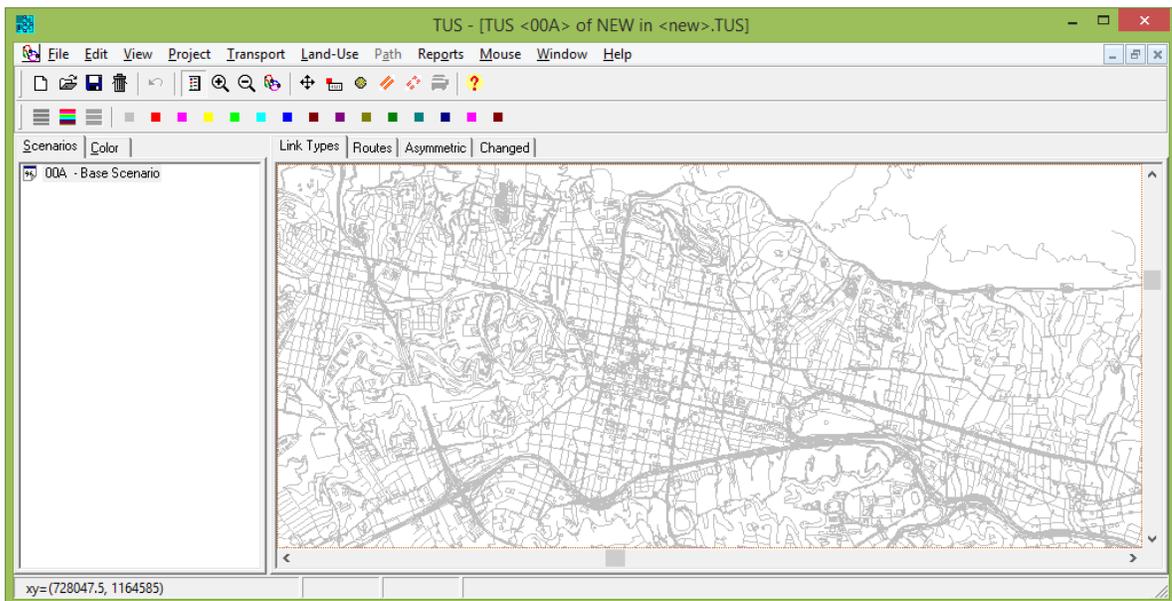
3.2 Utilizando una base georeferenciada

La red que codificamos en la sección anterior no tiene referencias geográficas. En la mayoría de los proyectos, sin embargo, necesitamos que cada nodo esté en una posición precisa, y queremos que los arcos presenten curvas lo más parecido a la realidad que se pueda.

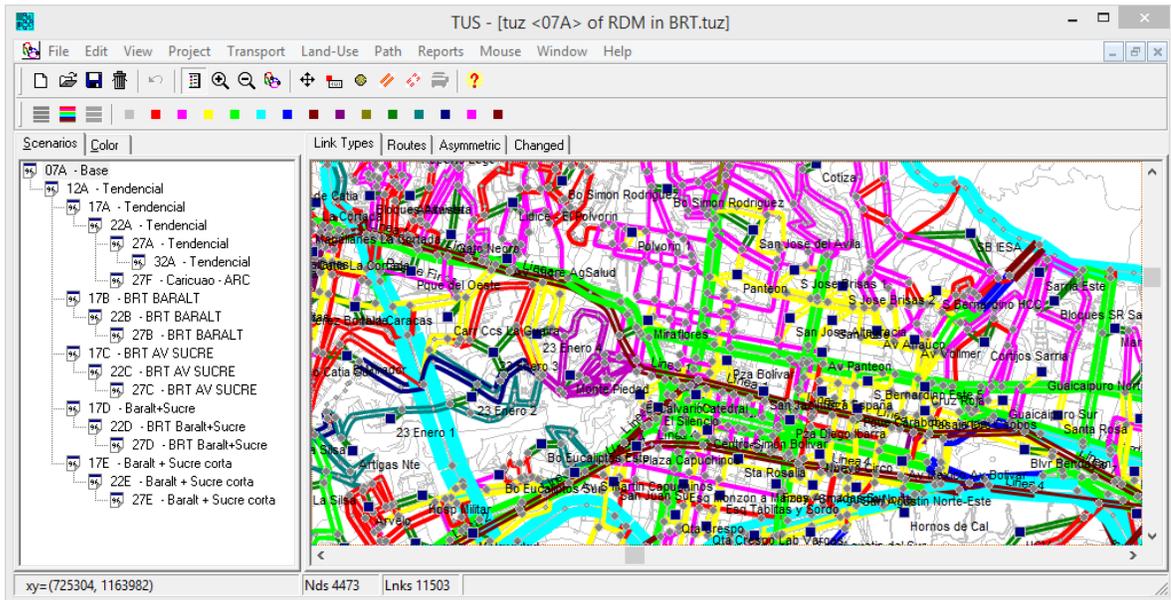
Para lograr esto debemos importar un archivo georeferenciado y utilizarlo como imagen de fondo. La interfaz de TRANUS permite importar archivos con el formato DXF de Autocad Versión 12, un formato que se ha transformado en un estándar muy común. Para ello utilizamos el menú *View – Background Files*. Utilizando el botón Add, podemos buscar en nuestras carpetas el archivo .dxf correspondiente a la aplicación. La siguiente ventana aparece:



El archivo debe estar preparado de antemano y debe corresponder al formato Autocad DXF version 12 text format. Este archivo puede ser creado directamente desde Autocad o por muchos programas SIG como MapInfo y otros. El menú permite escoger un color (silver funciona muy bien generalmente), y se puede seleccionar *Load automatically at startup* para que el archivo sea cargado cada vez que abrimos el proyecto. box. Luego del OK se carga el archivo, lo cual puede tardar unos segundos si es muy grande. Lo que se obtiene es una imagen como la siguiente:



Sobre esta base es posible utilizar las herramientas de edición de redes para codificar nodos y arcos con coordenadas georeferenciadas. También es posible importar varios archivos para agregar realismo a la representación, como por ejemplo los polígonos de las zonas, líneas de costa, ríos y otros. Al final se obtiene algo como esto:



3.3 Importando redes

Otra manera de codificar una red es importarla desde otro modelo o desde un SIG. Para esto se utiliza el menú Import/Export. Los archivos a importar siguen el formato texto delimitado por comas, que pueden ser creados con cualquier editor de textos o manejadores de bases de datos como Excel. Los archivos permiten importar nodos, arcos, rutas y retardos en las intersecciones. Siguen una secuencia lógica, un orden pre-establecido. Por ejemplo, si queremos importar una ruta de autobús, representada como una secuencia de arcos, previamente debemos importar los arcos, y previamente debemos importar los nodos de origen y destino de los arcos. Si no se sigue este orden, el programa genera la información faltante con valores por defecto, pero esto puede ser difícil de corregir después, por lo cual se recomienda seguir el orden establecido.

Los archivos tienen un primer registro que contiene el nombre de las variables, seguido por un número indeterminado de registros con los datos. La siguiente es la lista de archivos que puede ser importado con su contenido, siguiendo la secuencia lógica.

Nodes file

Es el archive que contiene los nodos, el primero en la secuencia. El nombre del archive debe ser 'cualquiercosa.nodes'. Cada registro debe contener el código de cada nodo y las coordenadas respectivas de acuerdo con el siguiente formato:

Node Id, X Coordinate, Y Coordinate, Zone Indicator, 'Name', 'Description'

- **Node Id** es un número único de identificación del nodo, un entero positivo que no puede repetirse
- **X y Y** son las coordenadas del nodo, generalmente coordenadas geográficas (por ejemplo, UTM)
- **Zone Indicator** puede tener uno de tres valores: 1 si el nodo es una zona interna; 2 si es una zona externa y 0 para cualquier otro nodo
- **Name and Description** son campos de texto opcionales

Links file

Después de importar los nodos, se puede importar los arcos que los conectan. El nombre del archivo debe ser 'cualquiercosa.links'. Luego del primer registro con los encabezamientos, siguen los registros de datos con el siguiente formato:

Link Id, Origin, Destination, Direction, Link Type, Distance, Capacity, 'Name', 'Description'

- **Link Id** es un código que identifica al arco
- **Origin y Destination** son los códigos que identifican los nodos de origen y destino del arco, que deben haber sido importados previamente
- **Direction** puede tener dos valores: 1 si el arco es unidireccional, 2 si es doble vía (*)
- **Link Type** es un código que identifica el tipo de vía al cual pertenece el arco (**)
- **Distance** es la longitud del arco
- **Capacity** es la capacidad de la vía en unidades de tráfico, generalmente vehículos equivalentes por hora o PCU (***)

(*) Una vía doble sentido puede ser codificada como dos arcos unidireccionales.

(**) El tipo de vía debe ser definido anteriormente utilizando el menú *Link Type*. Si no está definido, al importar los arcos el programa los crea con valores por defecto. Se utiliza *Link type = 0* si el arco se incluye en la base de datos pero pertenece a otro escenario

(***) Se puede especificar un valor de -1 para representar capacidad indefinida o infinita.

Routes definition file

Este archivo contiene una lista de rutas de transporte público con sus características. En otro archivo se definirán los recorridos. El nombre de este archivo debe ser 'cualquiercosa.opers'. El archivo debe contener un registro para cada ruta con los siguientes campos:

Route Id, 'Name', 'Description', Operator, MinFreq, MaxFreq, TargOcc, MaxFleet, Sched

- **Route Id** es un código numérico que identifica a la ruta
- **Name y Description** son textos opcionales
- **Operator** es el código numérico que identifica al operador al cual pertenece la ruta
- **MinFreq y MaxFreq** es la frecuencia mínima y máxima de la ruta, generalmente en términos de servicios por hora

- **TargOcc**, es un parámetro de la función que determina la frecuencia entre el rango mínimo y máximo, generalmente 0.7
- **MaxFleet**, fija la flota máxima para la ruta. Este valor es importante en condiciones de alta congestión, en la cual las velocidades de la ruta se reducen, y por lo tanto se requiere incrementar la flota para mantener la frecuencia.
- **Sched**, indica si la ruta sigue un horario (=1) o no (=0). Si la ruta sigue un horario el tiempo de espera es igual al mínimo. Si no sigue horario, el tiempo de espera es igual al mínimo + ½ de la frecuencia.

Recorrido de las rutas

Un archivo que define la secuencia de enlaces por lo cuales opera una ruta. El nombre debe ser 'cualquiercosa.routes'. Cada registro asigna una ruta a un enlace, con el siguiente formato:

Origin, Destination, Route ID, Use

- **Origin y Destination** son el nodo de origen y de destino del arco al cual se le asigna la ruta
- **Route Id** es el código de la ruta definido en el archive anterior
- **Use** es un entero con dos posibles valores: 1 si la ruta no tiene parada en el arco, y 2 si la ruta tiene parada.

Turns file

Contiene registros para representar posibles retardos en las intersecciones o giros prohibidos. El archive se debe llamar 'cualquiercosa.turns' y contiene los siguientes campos:

From, Thru, To, Delay

From, Thru, To son los nodos que identifican el giro

Delay es el retardo en el giro (si el giro está prohibido, delay = 'INF')

Reglas generales

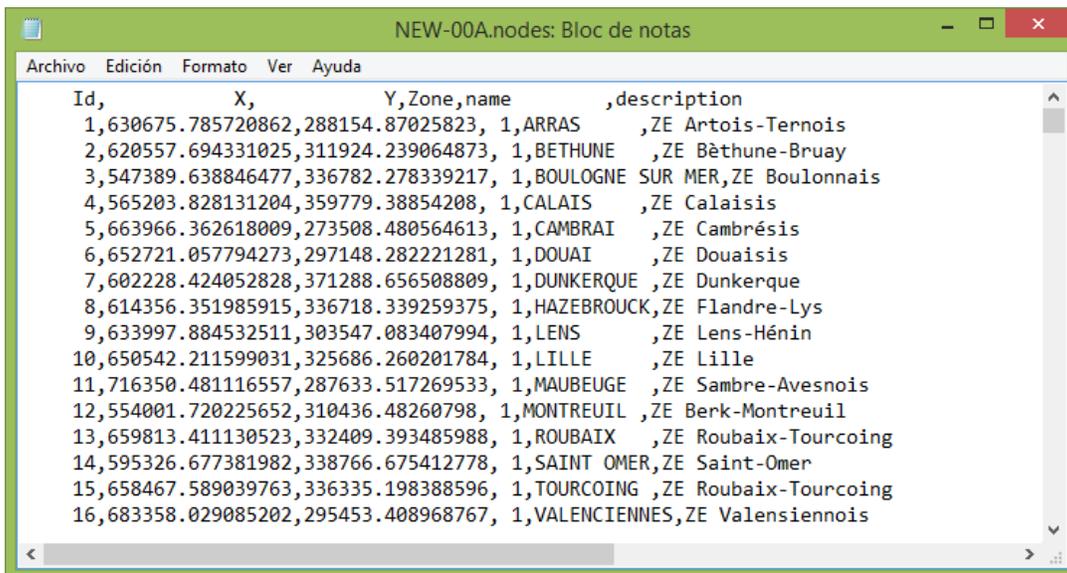
Cuando se importa una lista total o parcial, deben considerarse los siguientes puntos:

- Si la lista de nodos, arcos o rutas contiene repeticiones, como por ejemplo, dos arcos con el mismo Id de origen y destino, prevalece la última ocurrencia en la lista.
- Si la lista contiene una entidad (nodo, arco, etc.) que ya estaba en la base de datos de TRANUS, la nueva importación reemplaza a la que ya existía.
- Si la lista de arcos contiene un Id de origen y/o destino que no han sido definidos previamente, serán creados en la base de datos con nombres en blanco y X=Y=0.
- Si la lista define una ruta cuyo operador no ha sido definido previamente, lo creará con valores por defecto.
- Si la lista de rutas asignadas a arcos contiene identificadores de nodos que no han sido creados previamente, se crean en blanco con coordenadas X=Y=0. Si contiene un identificador de

ruta que no ha sido creado previamente, se le crea con parámetros por defecto y se le asigna a un Nuevo operador.

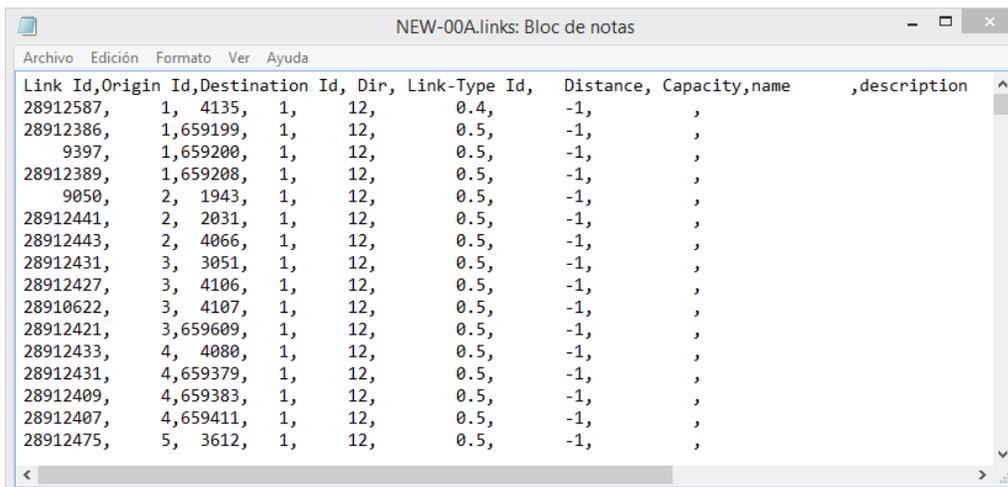
Por estas razones se recomienda que se respite el orden en que deben ser importados los archivos: nodos, arcos, definición de rutas y asignación de rutas a arcos. La lista puede ser total o parcial, y el proceso de importación puede repetirse todas las veces que sea necesario.

Ejemplo de un archivo **.nodes**



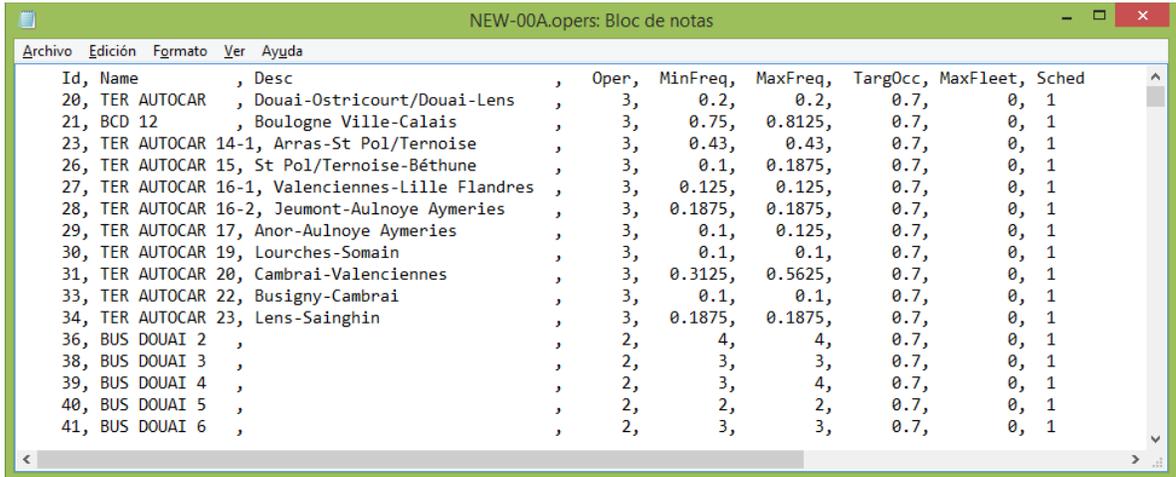
Id,	X,	Y,	Zone,	name	,description
1,630675.785720862,288154.87025823,	1,ARRAS	,ZE Artois-Ternois			
2,620557.694331025,311924.239064873,	1,BETHUNE	,ZE Bèthune-Bruay			
3,547389.638846477,336782.278339217,	1,BOULOGNE SUR MER,	ZE Boulonnais			
4,565203.828131204,359779.38854208,	1,CALAIS	,ZE Calaisis			
5,663966.362618009,273508.480564613,	1,CAMBRAI	,ZE Cambrésis			
6,652721.057794273,297148.282221281,	1,DOUAI	,ZE Douaisis			
7,602228.424052828,371288.656508809,	1,DUNKERQUE	,ZE Dunkerque			
8,614356.351985915,336718.339259375,	1,HAZEBROUCK,	ZE Flandre-Lys			
9,633997.884532511,303547.083407994,	1,LENS	,ZE Lens-Hénin			
10,650542.211599031,325686.260201784,	1,LILLE	,ZE Lille			
11,716350.481116557,287633.517269533,	1,MAUBEUGE	,ZE Sambre-Avesnois			
12,554001.720225652,310436.48260798,	1,MONTREUIL	,ZE Berk-Montreuil			
13,659813.411130523,332409.393485988,	1,ROUBAIX	,ZE Roubaix-Tourcoing			
14,595326.677381982,338766.675412778,	1,SAINT OMER,	ZE Saint-Omer			
15,658467.589039763,336335.198388596,	1,TOURCOING	,ZE Roubaix-Tourcoing			
16,683358.029085202,295453.408968767,	1,VALENCIENNES,	ZE Valensiennois			

Ejemplo de un archivo **.links**



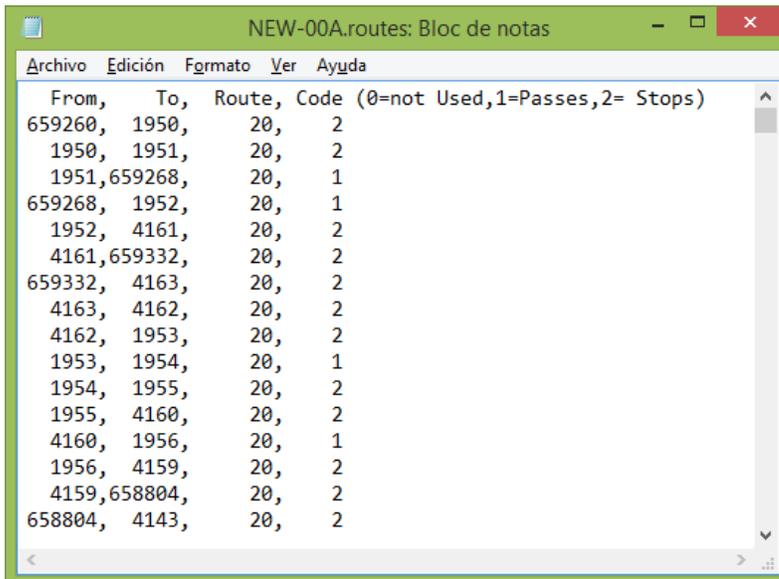
Link Id,	Origin Id,	Destination Id,	Dir,	Link-Type Id,	Distance,	Capacity,	name	,description
28912587,	1, 4135,	1, 12,	0.4,	-1,	,			
28912386,	1,659199,	1, 12,	0.5,	-1,	,			
9397,	1,659200,	1, 12,	0.5,	-1,	,			
28912389,	1,659208,	1, 12,	0.5,	-1,	,			
9050,	2, 1943,	1, 12,	0.5,	-1,	,			
28912441,	2, 2031,	1, 12,	0.5,	-1,	,			
28912443,	2, 4066,	1, 12,	0.5,	-1,	,			
28912431,	3, 3051,	1, 12,	0.5,	-1,	,			
28912427,	3, 4106,	1, 12,	0.5,	-1,	,			
28910622,	3, 4107,	1, 12,	0.5,	-1,	,			
28912421,	3,659609,	1, 12,	0.5,	-1,	,			
28912433,	4, 4080,	1, 12,	0.5,	-1,	,			
28912431,	4,659379,	1, 12,	0.5,	-1,	,			
28912409,	4,659383,	1, 12,	0.5,	-1,	,			
28912407,	4,659411,	1, 12,	0.5,	-1,	,			
28912475,	5, 3612,	1, 12,	0.5,	-1,	,			

Ejemplo de un archivo *.opers*



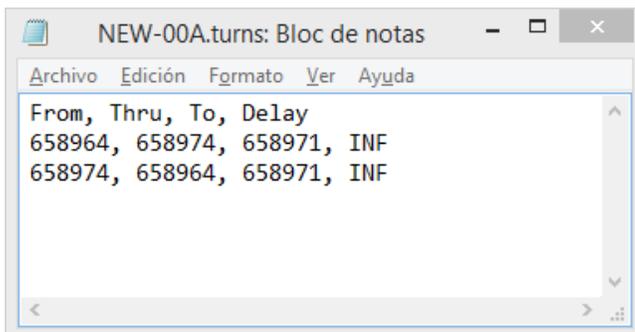
Id	Name	Desc	Oper	MinFreq	MaxFreq	TargOcc	MaxFleet	Sched
20	TER AUTOCAR	Douai-Ostricourt/Douai-Lens	3	0.2	0.2	0.7	0	1
21	BCD 12	Boulogne Ville-Calais	3	0.75	0.8125	0.7	0	1
23	TER AUTOCAR 14-1	Arras-St Pol/Ternoise	3	0.43	0.43	0.7	0	1
26	TER AUTOCAR 15	St Pol/Ternoise-Béthune	3	0.1	0.1875	0.7	0	1
27	TER AUTOCAR 16-1	Valenciennes-Lille Flandres	3	0.125	0.125	0.7	0	1
28	TER AUTOCAR 16-2	Jeumont-Aulnoye Aymeries	3	0.1875	0.1875	0.7	0	1
29	TER AUTOCAR 17	Anor-Aulnoye Aymeries	3	0.1	0.125	0.7	0	1
30	TER AUTOCAR 19	Lourches-Somain	3	0.1	0.1	0.7	0	1
31	TER AUTOCAR 20	Cambrai-Valenciennes	3	0.3125	0.5625	0.7	0	1
33	TER AUTOCAR 22	Busigny-Cambrai	3	0.1	0.1	0.7	0	1
34	TER AUTOCAR 23	Lens-Sainghin	3	0.1875	0.1875	0.7	0	1
36	BUS DOUAI 2		2	4	4	0.7	0	1
38	BUS DOUAI 3		2	3	3	0.7	0	1
39	BUS DOUAI 4		2	3	4	0.7	0	1
40	BUS DOUAI 5		2	2	2	0.7	0	1
41	BUS DOUAI 6		2	3	3	0.7	0	1

Ejemplo de un archivo *.routes*



From	To	Route	Code (0=not Used,1=Passes,2= Stops)
659260	1950	20	2
1950	1951	20	2
1951	659268	20	1
659268	1952	20	1
1952	4161	20	2
4161	659332	20	2
659332	4163	20	2
4163	4162	20	2
4162	1953	20	2
1953	1954	20	1
1954	1955	20	2
1955	4160	20	2
4160	1956	20	1
1956	4159	20	2
4159	658804	20	2
658804	4143	20	2

Ejemplo de un archivo *.turns*



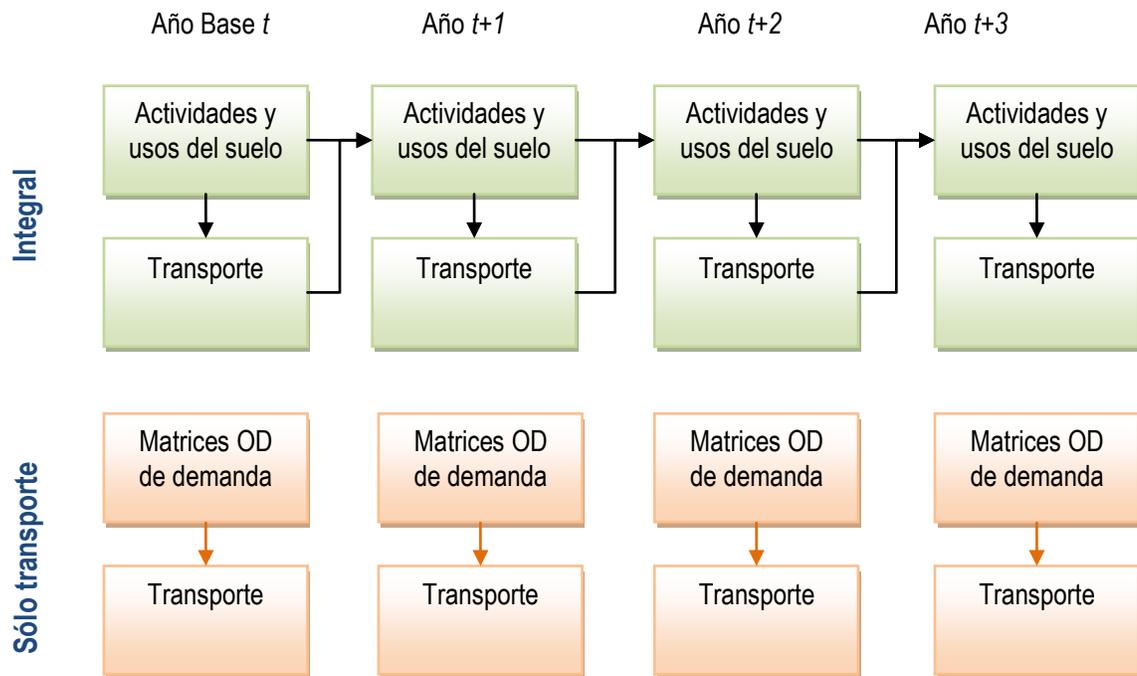
From	Thru	To	Delay
658964	658974	658971	INF
658974	658964	658971	INF

3.4 Importando una red de un sistema de información geográfica SIG

4 Diseño de la aplicación

4.1 Aplicación integral o sólo transporte

La primera decisión a tomar es si la aplicación del modelo será integral con usos del suelo y localización de actividades con el sistema de transporte, o si se tratará de una aplicación sólo-transporte. TRANUS permite ambos. Estos dos esquemas se presentan en la siguiente figura.



Una aplicación completamente integrada tiene muchas ventajas. La demanda de transporte es calculada sobre la base de la interacción espacial entre actividades, de tal manera que los resultados son consistentes con la información sobre la localización de la población o las empresas, servicios y los usos del suelo. El transporte de personas o mercancías se explica sobre la base de las actividades económicas que dan lugar a la demanda de transporte. A su vez, las actividades interactúan con el mercado inmobiliario. Por su parte el transporte es un componente fundamental para explicar la localización de actividades. En consecuencia, el uso de un esquema integrado es una garantía para obtener resultados sólidos y consistentes. Además es la base para realizar proyecciones a largo plazo, tales como 20 o 30 años.

Una aplicación sólo-transporte puede resultar más fácil de implantar, ya que no hay necesidad de recolectar datos sobre la localización de actividades y los usos del suelo. Además, como se verá más adelante, la calibración de un modelo de localización de actividades y usos del suelo puede ser una tarea importante. Por esto, cuando se requiere un estudio rápido con pocos recursos, entonces una aplicación sólo-transporte puede ser la única salida.

Nótese que hay una diferencia en la forma como se relacionan los períodos. En el esquema integrado, en cada período de tiempo, la localización de actividades afecta el sistema de transporte, y éste, a su vez, afecta la localización e interacción de actividades, pero en un período siguiente. También en la localización de actividades hay relaciones directas entre un período y el siguiente, lo cual se indica con las flechas en el diagrama. Esto hace que se genere una relación dinámica entre localización de actividades y el transporte, y que cada período se relacione con el anterior, y a su vez genere insumos para el siguiente, tal que al correr los modelos se debe respetar la secuencia. En el esquema sólo-transporte cada período de tiempo es independiente de los demás y los modelos pueden correrse en cualquier orden.

El implantar un modelo sólo-transporte sin usos del suelo, sin embargo, significa que debemos alimentar el modelo con un conjunto de matrices origen-destino, lo cual no es un asunto trivial. En modelos a gran escala, como los regionales o nacionales, no es muy difícil obtener matrices de viajes a partir de encuestas de intercepción en carreteras. Luego el modelo de transporte se utiliza para corregir y ajustar las matrices obtenidas de las entrevistas sobre la base de aforos vehiculares. Este proceso se facilita por que las redes a esta escala son relativamente simples y con pocas opciones. En muchos países, estas matrices se encuentran disponibles.

Muy diferente es una aplicación a un área urbana o metropolitana, con redes muy densas y una fina malla de posibilidades. En este caso las encuestas de intercepción pierden totalmente su utilidad, excepto quizás para medir los viajes externos en entradas y salidas. Pero la posibilidad de realizar encuestas en la vía es virtualmente imposible. De allí que se recurra a encuestas en hogares, en las cuales se preguntan los orígenes y destinos.

Las encuestas en hogares, sin embargo, sufren de un problema importante de muestreo. Estas encuestas se realizan sobre muestras entre 0.5% a 1.0%. Para una ciudad de unos 3 millones de habitantes, esto implica la realización de unas 20 mil entrevistas. Si el área de estudio se divide en unas 600 zonas y se quiere la demanda desagregada en 3 categorías socioeconómicas, 2 modos y 3 propósitos de viaje, entonces la muestra de 20 mil hogares debe llenar $600 \times 600 \times 3 \times 3 \times 2 = 6.48$ millones de celdas, lo cual es una tarea imposible. En este caso la teoría de muestreo dirá que el error es *indeterminado*. No hace falta agregar que este tipo de encuestas son muy costosas.

En una estructura de modelación tradicional basada en 'cuatro etapas', las matrices son estimadas al combinar una etapa de generación con una de distribución, y este esquema puede aplicarse en TRANUS. Este método se puede desarrollar externamente en una hoja de cálculo, aprovechando las matrices de desutilidad que genera el modelo de transporte de TRANUS. Más adelante en esta guía se explicará la manera en que se introducen las matrices de viajes externas al modelo.

Generalmente los modelos de generación relacionan las producciones de viajes con la población en cada zona por estrato socioeconómico, y relacionan las atracciones de viajes con empleos y servicios. Luego la distribución de viajes estima las matrices al combinar las producciones y atracciones con las desutilidades. En TRANUS se puede hacer precisamente esto con el modelo de usos del suelo. Después de todo se requiere más o menos la misma información.

En estas circunstancias el modelo de localización de actividades y usos del suelo integrado con el transporte puede ser una respuesta definitiva. La idea es que se lleve a cabo una encuesta relativamente pequeña para estimar algunos parámetros de comportamiento básicos, con lo cual se proveen ciertos inputs importantes para los modelos. El modelo de transporte es luego ajustado contra

conteos de tráfico, y como resultados se obtienen matrices origen-destino modeladas. Estas matrices simuladas y sintetizadas representan la mejor estimación que podamos obtener.

De este análisis se pueden concluir los siguientes puntos:

- a) En la medida de lo posible, se debe intentar una aplicación integrada. Siempre será mejor que una aplicación sólo-transporte.
- b) En aplicaciones urbanas/metropolitanas, se debe insistir en una aplicación integrada, a no ser de que existan razones de peso para considerar que se dispone de matrices de demanda confiables, y además, no estamos interesados en proyecciones a mediano y largo plazo.
- c) En aplicaciones regionales con redes poco densas, es posible construir un modelo sólo-transporte basado en entrevistas en carreteras, ajustadas a aforos vehiculares.

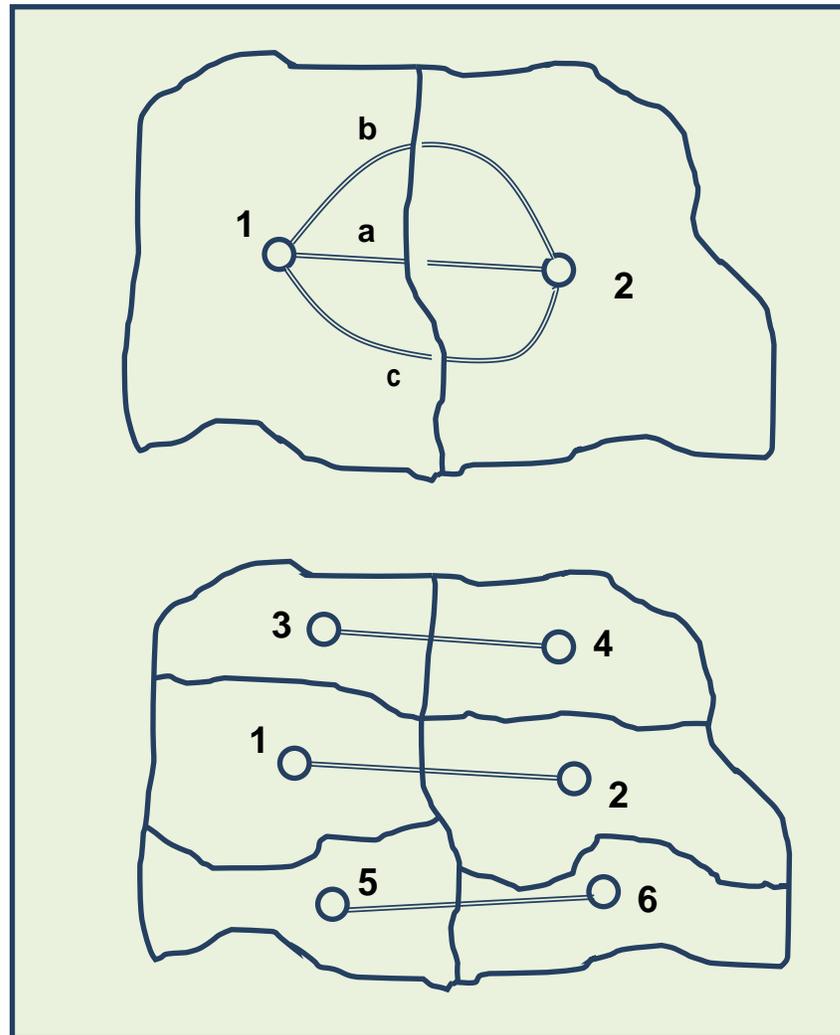
4.2 Zonificación

El área de estudio debe dividirse en zonas, una decisión importante a tomar al principio del estudio. El número de zonas tiene diversos efectos sobre el proceso de modelación. Es común pensar que muchas zonas hacen un mejor modelo. Esto no es necesariamente cierto, y mucho depende de la calidad de la información, ya que el error es menor en zonas grandes. Algunas variables son más confiables que otras. Por ejemplo, los datos de población pueden ser bastante precisos en zonas pequeñas por que provienen de un censo. Los datos de empleo, en cambio, serán bastante menos confiables, y datos sobre orígenes y destinos de viajes, lo serán aún menos.

Un número grande de zonas tiene otras implicaciones. Los tiempos de cómputo crecen exponencialmente, aunque esto es cada vez menos relevante gracias a la creciente potencia de nuestros computadores. La memoria RAM y el espacio en disco, dejaron de ser un problema. Hoy en día el mayor problema que tiene el modelador es analizar los resultados de un modelo para buscar posibles errores e inconsistencias, lo cual requiere tiempo que también crece exponencialmente.

Otro elemento a considerar es que el modelo de transporte en TRANUS es multimodal, multi-paso y probabilístico. Esto es superior al paradigma del equilibrio al usuario de muchas maneras, y una de ellas es que puede producir resultados realistas con un menor número de zonas. Considérese el ejemplo de la siguiente figura. El diagrama de arriba muestra dos grandes zonas conectadas por tres caminos a, b y c. Si la red no está muy congestionada, la asignación por equilibrio al usuario asignará todo el tráfico al camino a, dejando vacíos a b y c. Esto será poco realista en condiciones urbanas densas con las actividades distribuidas ampliamente por todos lados. Dado que los resultados no son realistas, el modelador por equilibrio al usuario se ve forzado a definir mucho más zonas, como en el diagrama de abajo. El modelo probabilístico en TRANUS no tiene este problema, porque aún si la red no está congestionada, el tráfico será repartido entre las opciones disponibles. Esta es la razón por la cual muchos analistas de transporte piensan que un buen modelo debe tener muchas muchas zonas, y es difícil convencerlos que TRANUS puede obtener mejores resultados con menos zonas.

Red simple para ilustrar el problema de pocas zonas en un modelo de asignación por equilibrio



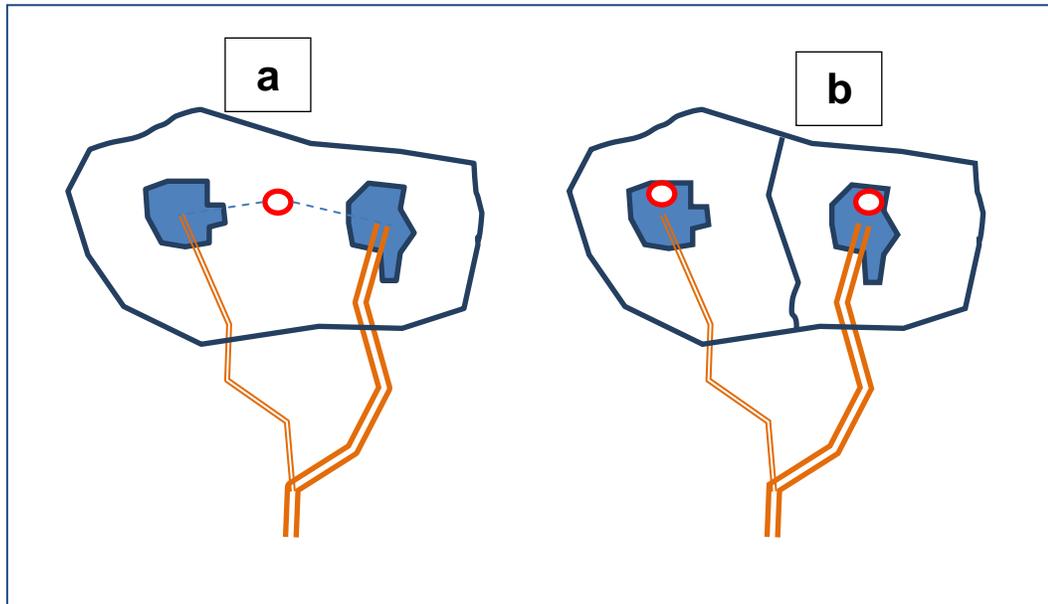
No existe una regla fija acerca de cuántas zonas debe tener el modelo, ya que mucho depende de la densidad del área y en el propósito del estudio. Típicamente un modelo urbano tendrá en el orden de 100 zonas por cada millón de habitantes, más si el área es densa, menos si las actividades están muy dispersas. Naturalmente que las zonas serán más pequeñas en el centro y más grandes a medida que nos alejamos hacia la periferia. En una aplicación regional, con una red más simple y con énfasis en los viajes interurbanos, una zona puede llegar a representar una ciudad completa.

Las zonas no deben necesariamente cubrir todo el territorio, y pueden tener islas, como ciudades satélites, y lagos, como grandes parques.

Una zona puede tener cualquier combinación de actividades en ella. Por ejemplo, una zona puede contener un conjunto residencial, un parque industrial y un gran centro comercial. El modelo de

usos del suelo no tiene problemas para manejar esta diversidad. Lo que es más importante es que la zona sea **homogénea respecto al transporte**, es decir, que todas sus partes compartan las mismas facilidades de transporte.

El siguiente diagrama ilustra este punto. Hay dos centros poblados, uno conectado a la red por una vía expresa y el otro por una carretera menor. En a) esto se representa con una sola zona, y el hecho que un centro está mejor conectado que el otro, se pierde. En b) hay dos zonas, con lo cual se obtiene una mejor representación de la realidad.



El modelo también hace una distinción entre *zonas internas* y *zonas externas*. En el modelo de actividades se hace una distinción importante entre ellas, ya que las zonas externas se utilizan para representar importaciones y exportaciones. Las importaciones se representan como producción que ocurre fuera del área de estudio y es traída al sistema desde las zonas externas correspondientes. Una producción asignada a una zona externa no genera producción inducida en otros sectores, con lo cual se puede decir que la cadena de producción/consumo termina allí. Las exportaciones son demandas exógenas ubicadas en zonas externas, que deben ser satisfechas por producción interna. En otras palabras en las exportaciones comienza la cadena de producción/consumo. Las zonas externas son opcionales. El modelo de transporte no hace distinción entre zonas internas y externas, tratándolas por igual. Más adelante se explica cómo se definen las zonas internas y externas.

4.3 Sectores socioeconómicos y categorías de transporte

En el modelo de actividades y usos del suelo, la economía se divide en *sectores socioeconómicos* de diversos tipos. En el modelo de transporte la demanda puede estar dividida en *categorías de transporte*. En una aplicación integrada, determinados sectores socioeconómicos se combinan con determinadas categorías de transporte.

4.3.1 Sectores socioeconómicos

En TRANUS, los conceptos básicos del modelo de insumo-producto se han generalizado y ampliado. El término *sector* es más amplio que en la versión tradicional, ya que puede representar a los clásicos sectores en que se divide la economía (agricultura, industria, minería, gobierno, etc.), factores de producción (capital, tierra y trabajo), como también grupos de población, empleo, construcciones, suelo, etc., que forman parte del sistema económico-espacial. El número y tipo de sectores se define de acuerdo a los requerimientos de cada aplicación específica del modelo, así como las unidades más convenientes para medirlos, lo que permite adaptarlo a situaciones urbanas o regionales. En la interfaz gráfica de TRANUS, los sectores se definen en el menú Land Use – Sectors.

Tipos de sector

Una primera distinción entre sectores es la característica de ser *transportables* o *no-transportables*. La principal diferencia es que los sectores transportables pueden ser consumidos en lugares diferentes a donde se producen. Una demanda de carbón para una industria siderúrgica, por ejemplo, puede ser satisfecha por industrias mineras ubicadas en otras regiones, tal que el carbón es transportado desde la zona de producción a la zona de consumo. La demanda de mano de obra en un sector de una ciudad puede ser satisfecha por población residente en otras áreas de la ciudad, generando así flujos de personas.

El ejemplo más típico de un sector no-transportable es el suelo y las edificaciones, aunque puede haber otras. La principal característica es que estos sectores deben ser consumidos en el mismo lugar en que se producen. Las viviendas, las fábricas, las oficinas y los comercios no pueden ser transportados. Sólo se transportan las actividades y los productos.

En consecuencia, los sectores transportables generan flujos o desplazamientos, ya sea de mercancías o personas, y estos flujos se pueden transformar luego en demanda de transporte. A su vez, para que se puedan dar estos desplazamientos, se requiere de facilidades de transporte, el cual impone costos al sistema productivo. Los sectores no-transportables, en cambio, no requieren transporte ni generan flujos.

El modelo identifica a un sector transportable porque el parámetro de distribución de la producción es > 0 .

Otra distinción entre sectores es entre exógenos e inducidos:

- **Sector exógeno** es aquel en el cual toda su producción es exógena, es decir, es demandada fuera del sistema económico que se está modelando. El modelo identifica estos sectores porque en las relaciones intersectoriales, ningún otro sector los consume. Un sector exógeno, por lo tanto, no genera flujos.
- **Sector inducido transportable** es aquel en que la producción es demandada total o parcialmente por otros sectores. Estos son los sectores que generan flujos.
- **Sector inducido no-transportable** es aquel que lo consumen otros sectores en su misma zona, ya que no puede ser transportado, y en consecuencia no genera flujos.

Se destaca que un sector inducido puede tener parte de la producción demandada por otros sectores (inducida) y parte demandada exógena. La siguiente tabla ilustra las combinaciones posibles.

Tipo de sector	Descripción	¿Quiénes lo demandan?	¿Genera flujos?	Parámetro distribución
Exógeno	Su producción es demandada enteramente fuera del sistema económico	Ningún otro sector	no	= 0
Inducido transportable	Su producción es demandada total o parcialmente dentro del sistema	Otros sectores	sí	> 0
Inducido no-transportable	Su producción es demandada total o parcialmente dentro del sistema	Otros sectores	no	= 0

También es posible definir sectores que no consuman ni sean consumidos, simplemente para servir como variables atractoras en la distribución de otros sectores.

4.3.2 Relaciones intersectoriales

En el modelo los sectores se relacionan entre sí a través de funciones de demanda y atractores. Las funciones de demanda pueden ser elásticas o inelásticas (coeficientes). Para el modelo, en realidad, todas las funciones son elásticas, pero algunas pueden tener elasticidad = 0. En esta sección nos referimos a las funciones de demanda. Las relaciones entre sectores deben ser definidas al comienzo del estudio.

Un caso sencillo

Comenzaremos con una estructura muy simple: el modelo de Lowry. Definiremos tres sectores: empleo básico, población y empleo de servicio. El empleo básico es exógeno, y consume población. La población, a su vez, consume empleo de servicio, y éste consume más población. Supongamos que tenemos 1000 empleos en el sector básico, 1500 empleos en servicios y que la población es 7250. Esto significa que hay 2500 empleos en total, lo que da una tasa de 2.9 personas por empleo. La tasa de empleos de servicios por habitante sería aproximadamente 0.207. Esto se puede representar en una tabla de insumo-producto de la siguiente manera:

Sectores	Empleo Básico	Población	Empleo en Servicios
Empleo Básico			
Población	2.9		2.9
Empleo en servicios		0.207	

Las columnas representan sectores de consumo, mientras las filas representan sectores de producción. Por ejemplo, cada empleo básico consume 2.9 personas.

Para representar esto en el modelo, primero definimos los sectores en el menú Land Use-Sectors:

Sector NEW [Manual Usuario 01.tuz]

00A - Base Scenario

Definition

Id

Name

Description

Sector Type

Data

Elasticity

Logit Scaling

Attractor Factor

Price Factor

Sector NEW [Manual Usuario 01.tuz]

00A - Base Scenario

Definition

Id

Name

Description

Sector Type

Data

Elasticity

Logit Scaling

Attractor Factor

Price Factor

Sector NEW [Manual Usuario 01.tuz]

00A - Base Scenario

Definition

Id

Name

Description

Sector Type

Data

Elasticity

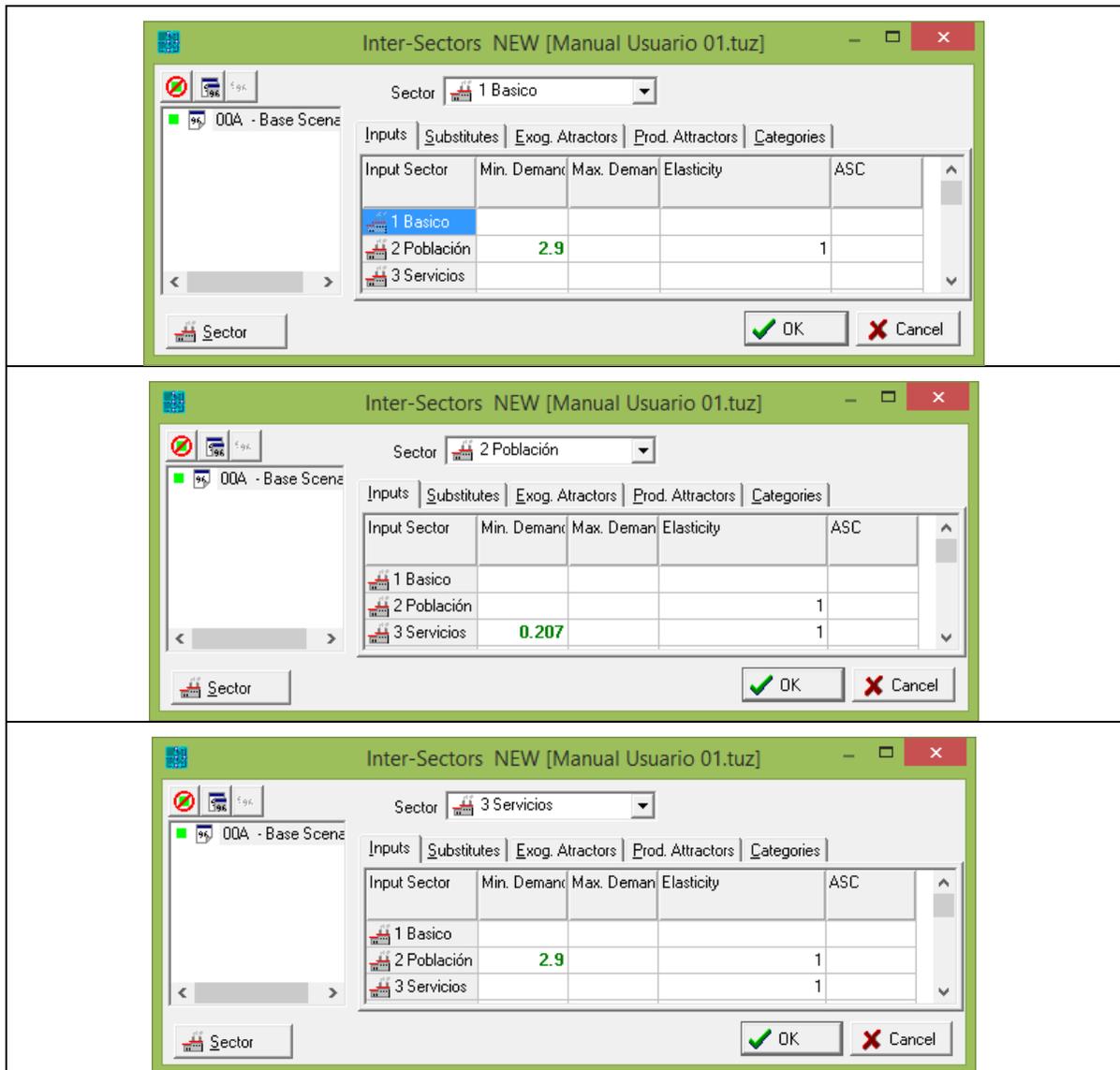
Logit Scaling

Attractor Factor

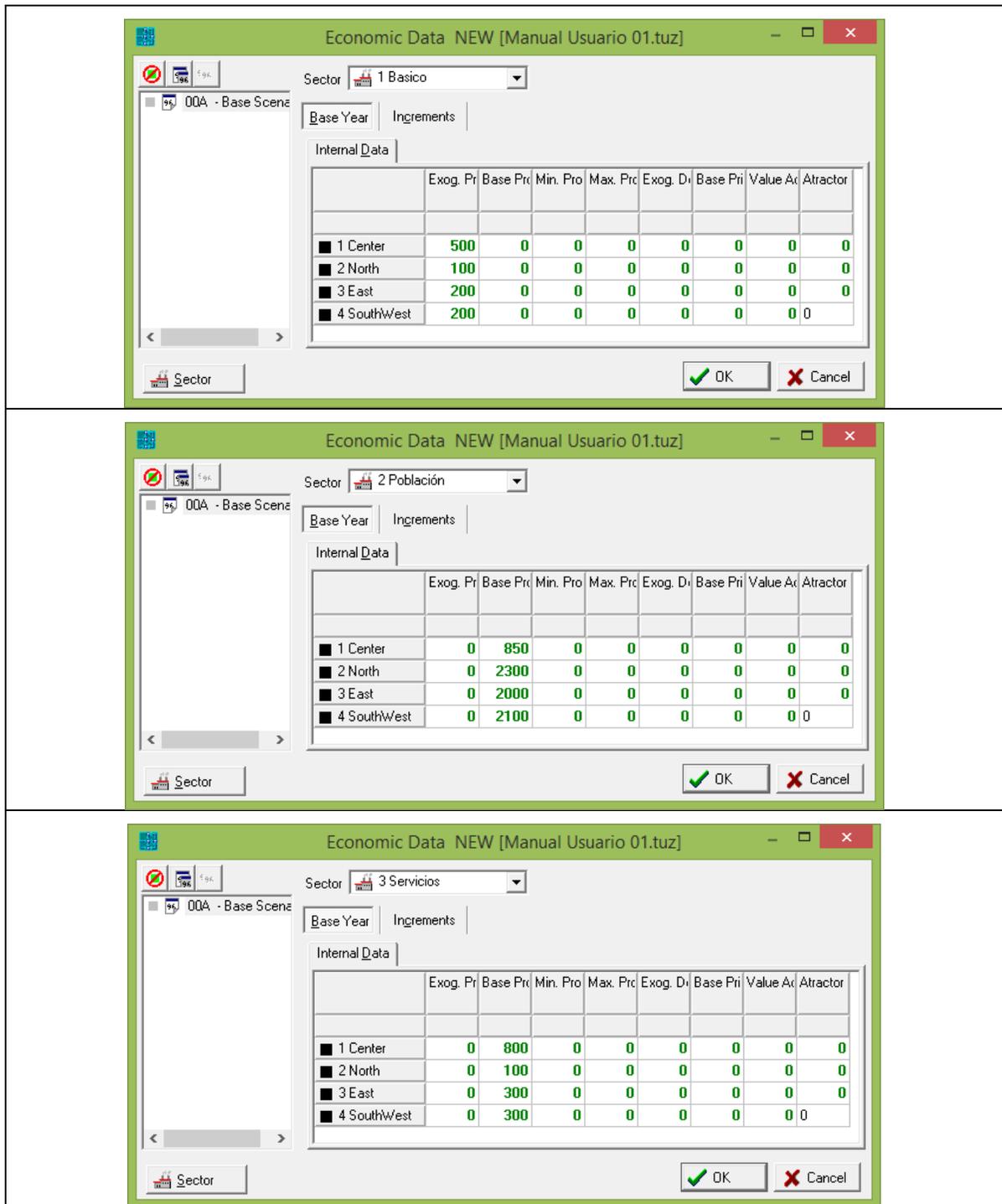
Price Factor

Hemos definido los tres sectores. Puede verse que el parámetro ‘Elasticity’, que representa el parámetro de dispersión del logit de la distribución de la producción, es 0.0 para el Empleo Básico, 0.8 para la Población y 1.2 para el Empleo de Servicio. Esto es porque el empleo básico es un sector exógeno, mientras los otros dos son inducidos transportables.

La ventana Intersector deberá verse así:



Debido a que la demanda por población y servicio son inelásticas, sólo es necesario especificar el Min Demand. El programa asume que si Max Demand y Elasticity son cero, entonces la función es inelástica. Si suponemos que nuestra área de estudio está dividida en cuatro zonas en las cuales se distribuye la producción, entonces la ventana Land Use – Economic Data se verá de la siguiente manera:



The figure shows three sequential screenshots of the 'Economic Data NEW' dialog box, illustrating the data entry for different sectors. Each screenshot shows a table with columns: Exog. Pr, Base Pro, Min. Pro, Max. Pro, Exog. D, Base Pri, Value Ac, and Atractor. The rows represent four zones: 1 Center, 2 North, 3 East, and 4 SouthWest.

Sector 1 Básico

	Exog. Pr	Base Pro	Min. Pro	Max. Pro	Exog. D	Base Pri	Value Ac	Atractor
1 Center	500	0	0	0	0	0	0	0
2 North	100	0	0	0	0	0	0	0
3 East	200	0	0	0	0	0	0	0
4 SouthWest	200	0	0	0	0	0	0	0

Sector 2 Población

	Exog. Pr	Base Pro	Min. Pro	Max. Pro	Exog. D	Base Pri	Value Ac	Atractor
1 Center	0	850	0	0	0	0	0	0
2 North	0	2300	0	0	0	0	0	0
3 East	0	2000	0	0	0	0	0	0
4 SouthWest	0	2100	0	0	0	0	0	0

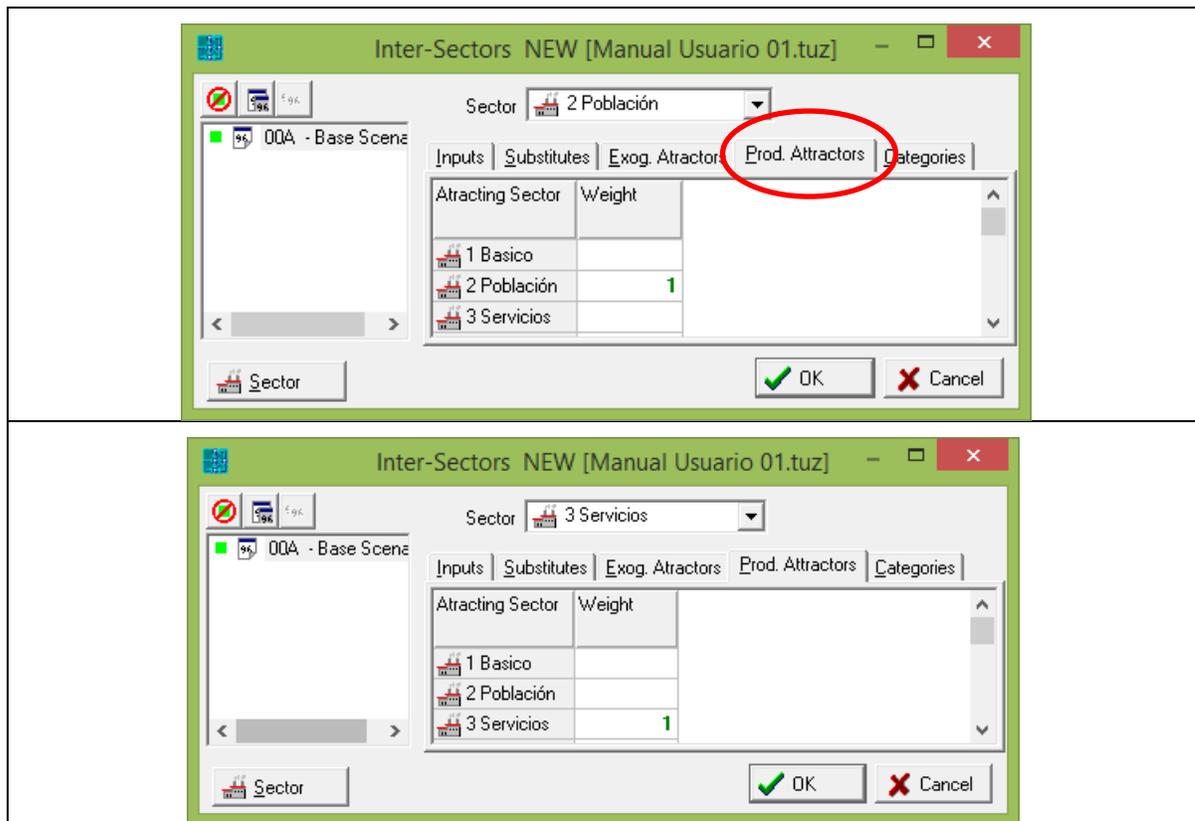
Sector 3 Servicios

	Exog. Pr	Base Pro	Min. Pro	Max. Pro	Exog. D	Base Pri	Value Ac	Atractor
1 Center	0	800	0	0	0	0	0	0
2 North	0	100	0	0	0	0	0	0
3 East	0	300	0	0	0	0	0	0
4 SouthWest	0	300	0	0	0	0	0	0

La suma de los valores de producción por zona debe ser igual a los totales señalados anteriormente. Puede verse que en el caso del Empleo Básico las cifras están bajo la columna 'Exogenous Produc-

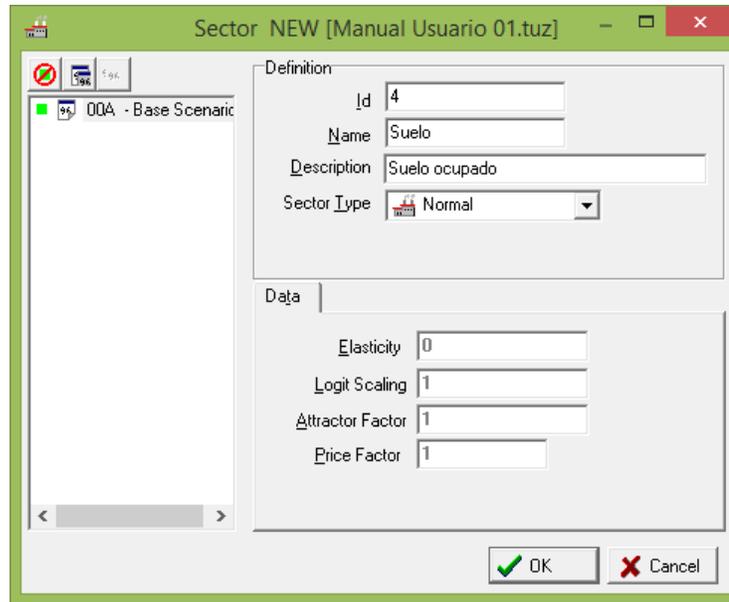
tion’, mientras la población y los servicios están bajo ‘Base Production’ (debería llamarse ‘Induced Production’). Si se corre este modelo el punto de arranque será la producción exógena del empleo básico. Aplicando los coeficientes de demanda, el modelo calcula la producción inducida de la población y el empleo de servicios.

Para realizar la distribución espacial de la producción inducida, sin embargo, se requiere la definición de un atractor. Debido que el atractor multiplica la función de utilidad, no puede ser cero. La forma más fácil para definir un atractor para la distribución de la producción inducida es especificar que cada sector se atrae a sí mismo. Esto se define en el menú Inter Sectors – Production Attractors. Sólo debemos especificar esto para los sectores inducidos población y servicios.



Introduciendo un sector no-transportable

Ahora podemos agregar un sector no-transportable como el suelo, y podemos especificar que las actividades consumen suelo con funciones de demanda elásticas. La ventana de definición de sectores para el suelo sería así:



Sector NEW [Manual Usuario 01.tuz]

Definition:

Id: 4

Name: Suelo

Description: Suelo ocupado

Sector Type: Normal

Data:

Elasticity: 0

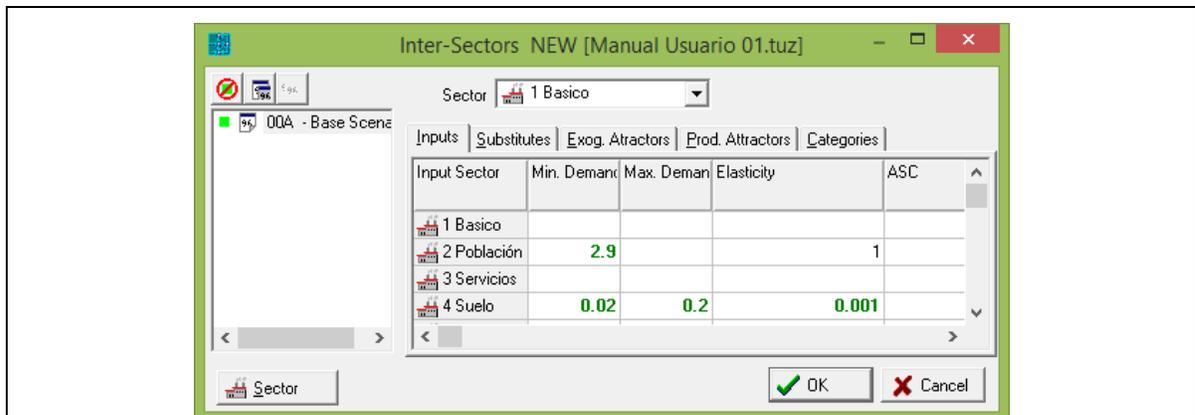
Logit Scaling: 1

Attractor Factor: 1

Price Factor: 1

OK Cancel

Debido a que el suelo es no-transportable, el parámetro 'Elasticity' debe ser cero. La ventana Inter-Sector para los sectores que consumen suelo se vería ahora así:



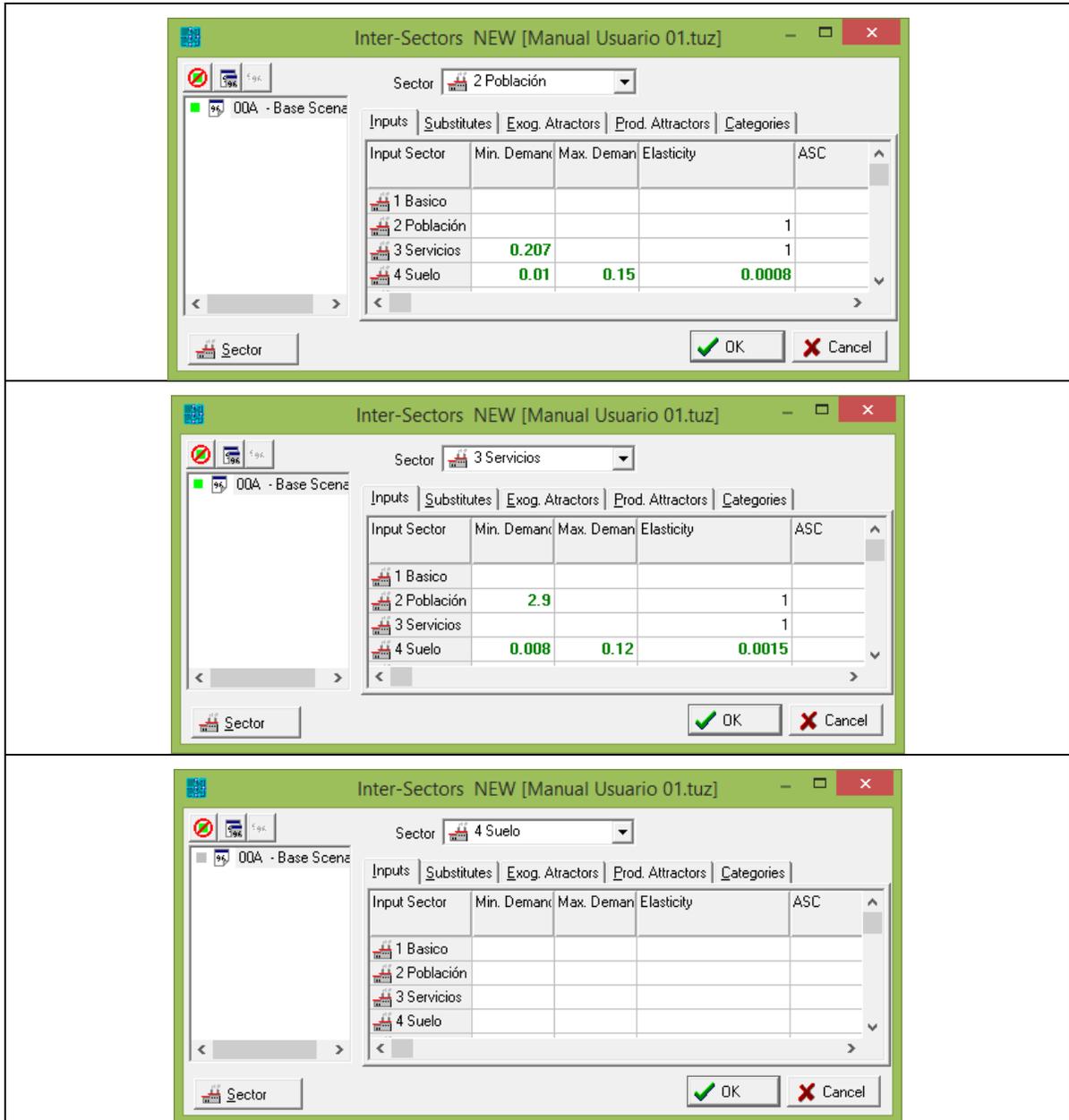
Inter-Sectors NEW [Manual Usuario 01.tuz]

Sector: 1 Basico

Inputs | Substitutes | Exog. Atractors | Prod. Atractors | Categories

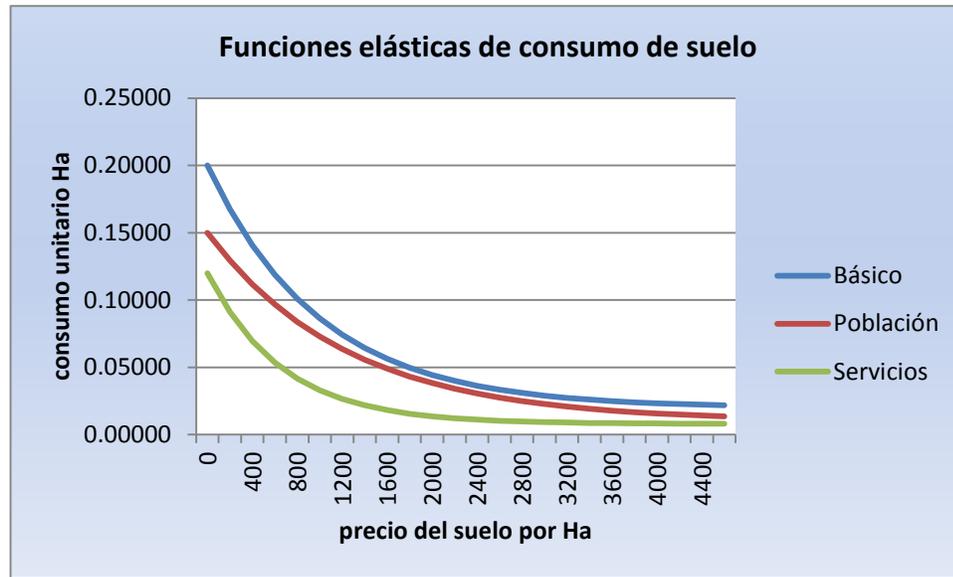
Input Sector	Min. Demand	Max. Demand	Elasticity	ASC
1 Basico				
2 Población	2.9			1
3 Servicios				
4 Suelo	0.02	0.2	0.001	

Sector OK Cancel

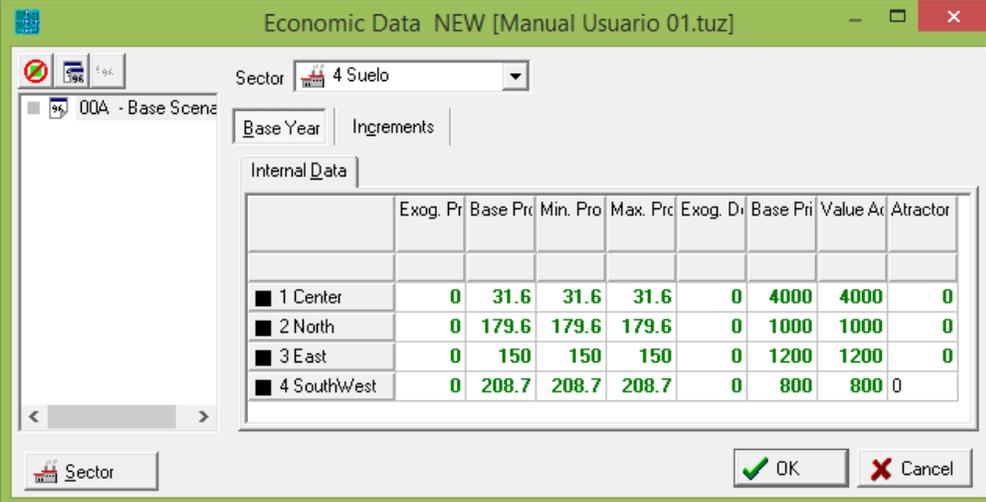


Por ejemplo, el empleo de servicio consume un mínimo de 0.008 hectáreas de suelo, y un máximo de 0.12, con una elasticidad de 0.0015. Dependiendo en el precio del suelo el consumo por cada empleo estará en algún punto intermedio entre el mínimo y el máximo. La ventana de Inputs para el suelo está vacía, porque este sector no consume nada. Debido a que el suelo es no-transportable, no hay una distribución espacial, y por lo tanto no se requiere un atractor.

Las funciones de demanda elásticas van desde un máximo cuando el precio es cero, a un mínimo cuando el precio es muy alto. Con los datos que se han descrito, las tres funciones de demanda para cada sector de consumo son las siguientes:



Finalmente la ventana Economic Data para el suelo se vería así:



	Exog. Pr	Base Pr	Min. Pr	Max. Pr	Exog. D	Base Pri	Value Ad	Atractor
■ 1 Center	0	31.6	31.6	31.6	0	4000	4000	0
■ 2 North	0	179.6	179.6	179.6	0	1000	1000	0
■ 3 East	0	150	150	150	0	1200	1200	0
■ 4 SouthWest	0	208.7	208.7	208.7	0	800	800	0

En este ejemplo hay 31.6 hectáreas de suelo en la zona 1 a un precio de 4000 por Ha. En realidad el modelo no sabe en qué unidades se mide el suelo y el precio. El modelador puede elegir las unidades que estime convenientes, siempre que sea consistente. Si el suelo está en hectáreas, entonces el precio debe estar en \$\$\$ por hectárea. El suelo puede estar en hectáreas, acres, m², etc. Nótese que en la tabla, la cantidad de suelo está en la columna Base Prod, porque es un sector inducido. Los valores se repiten bajo Min Prod y Max Prod porque este sector está restringido. El precio va en la columna Base Price y se repite bajo Value Added para ayudar en la convergencia del modelo.

Utilizando Excel y Solver para ajustar los coeficientes de demanda

Esta es una breve nota para mostrar cómo se puede utilizar Excel y Solver para ajustar los coeficientes de demanda inelásticos. Lo primero a señalar es que los totales de producción de cada sector dependen de la precisión de los coeficientes de demanda. Una pequeña diferencia en el sexto decimal puede significar cientos de personas de más o de menos en un grupo socioeconómico, y esto puede dificultar la convergencia.

Esto puede deberse a que nuestros datos no son muy precisos. Así, por ejemplo, la distribución de la población por categoría socioeconómica puede ser una aproximación con muy pocos decimales. También cuando desagregamos la población por estrato, tenemos que relacionar a cada uno con los sectores de servicio, como comercio. Lo que tenemos es el número total de personas en cada estrato y el número total de empleos en comercio. Si dividimos este total por la suma de la población, obtendremos un coeficiente preciso. Pero sabemos que las personas de altos ingresos gastan más en comercio y por lo tanto generan más empleos. A lo mejor tenemos una encuesta que muestra que gastan el doble. Queremos ajustar los coeficientes para reflejar esto, pero cuando introducimos estos valores aproximado, obviamente no obtendremos los totales de cada sector con la debida precisión. Una pequeña diferencia en los empleos en comercio, genera diferencias en la población, tal que el error se propaga y agranda a lo largo de la cadena de producción y consumo.

Para resolver esto, lo mejor que podemos hacer es introducir los totales de producción y los coeficientes aproximados en una hoja de cálculo de una manera conveniente como la que se muestra en el siguiente ejemplo:

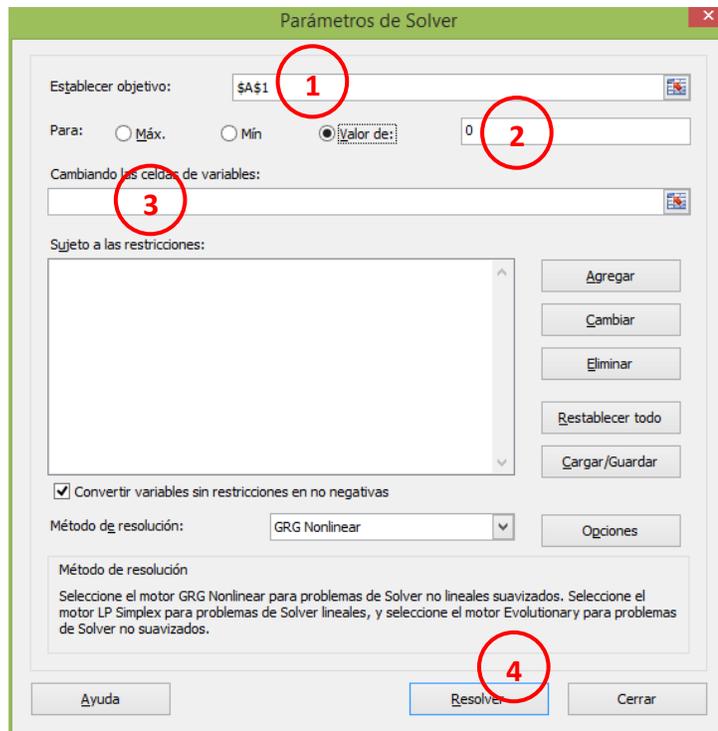
	Sector 1	Sector 2	Sector 3	Sector 4	Totales calculados	Diferencia
Sector 1			a(1,3)	a(1,4)	X1'	$\Delta 1=X1-X1'$
Sector 2			a(2,3)	a(2,4)	X2'	$\Delta 2=X2-X2'$
Sector 3	a(3,1)	a(3,2)	a(3,3)		X3'	$\Delta 3=X3-X3'$
Sector 4	a(4,1)	a(4,2)	a(4,3)		X4'	$\Delta 4=X4-X4'$
Totales conocidos	X1	X2	X3	X4		

Nuevamente las columnas representan sectores de consumo y las filas a los sectores de producción. El Sector 3 consume al Sector 1 con un coeficiente de a(1,3). En otras palabras, cada unidad del Sector 3 consume a(1,3) unidades del Sector 1. Si multiplicamos la producción total del Sector 3 por a(1,3), obtendremos la producción del Sector 1 inducida por el Sector 3. Pero el Sector 4 también consume al Sector 1 con un coeficiente a(1,4). Al final la producción total del Sector 1 será:

$$X1' = X3 * a(1,3) + X4 * a(1,4)$$

Pero sabemos que la producción del Sector es X1. Debido a que los coeficientes a(1,3) y a(1,4) no son muy precisos, los totales calculados no necesariamente serán iguales a los calculados. La diferencia será $\Delta 1=X1-X1'$, un valor positivo o negativo.

Para lograr que $\Delta 1=0$ se recomienda utilizar la herramienta Solver que viene con Excel (asegúrese de tenerla instalada). La ventana principal de Solver, que se muestra abajo, tiene un lugar llamado *Establecer objetivo* (1) donde señalamos la celda en que se encuentra $\Delta 1$. Luego especificamos que queremos que este valor sea cero (2). En *Cambiando las celdas de variables* (3) seleccionamos las celdas que contienen a(1,3) y a(1,4). Se puede agregar como restricciones que los valores de a() sean positivos. Por ultimo clicamos el botón *Resolver* con lo cual se obtienen los valores ajustados de a(). Los resultados se pueden copiar-y-pegar (Ctrl+C y Ctrl+V) directamente en la ventana Inter Sectors de TRANUS.



Sustituciones

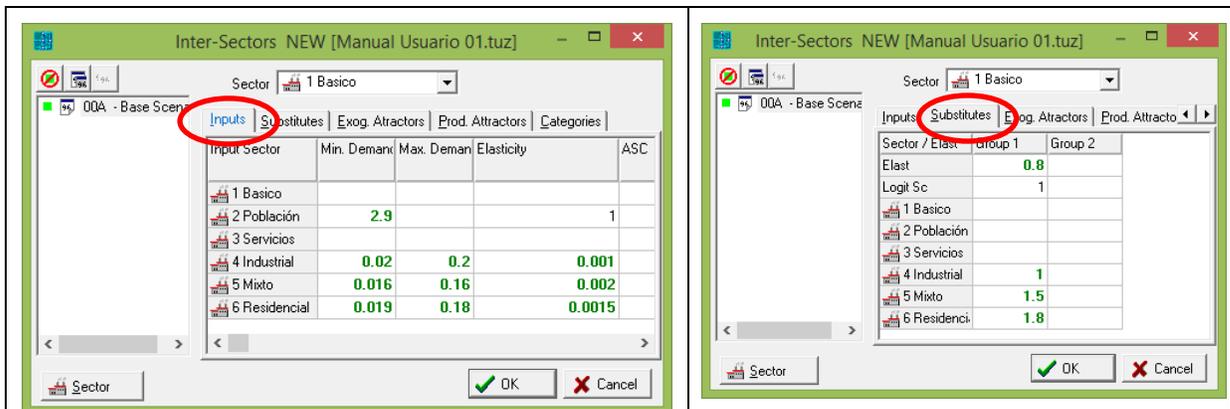
Lo que hemos visto hasta ahora son relaciones directas de producción y consumo, en que A consume a B, B consume a C y así sucesivamente. Las sustituciones constituyen una relación más compleja, porque corresponde a un caso en que A escoge entre consumir B, C o D para satisfacer una misma necesidad. Como se trata de modelos agregados y discretos, se dice que el consumo de A se distribuye entre las opciones sustitutivas B, C y D en determinadas proporciones. El resultado es una distribución logit con funciones de utilidad. Le llamamos *sustituciones* porque B, C y D son productos sustitutivos para el consumo de A. Si, supongamos, el consumo de C se hace más caro, entonces A puede decidir consumir menos C y más de B y D,

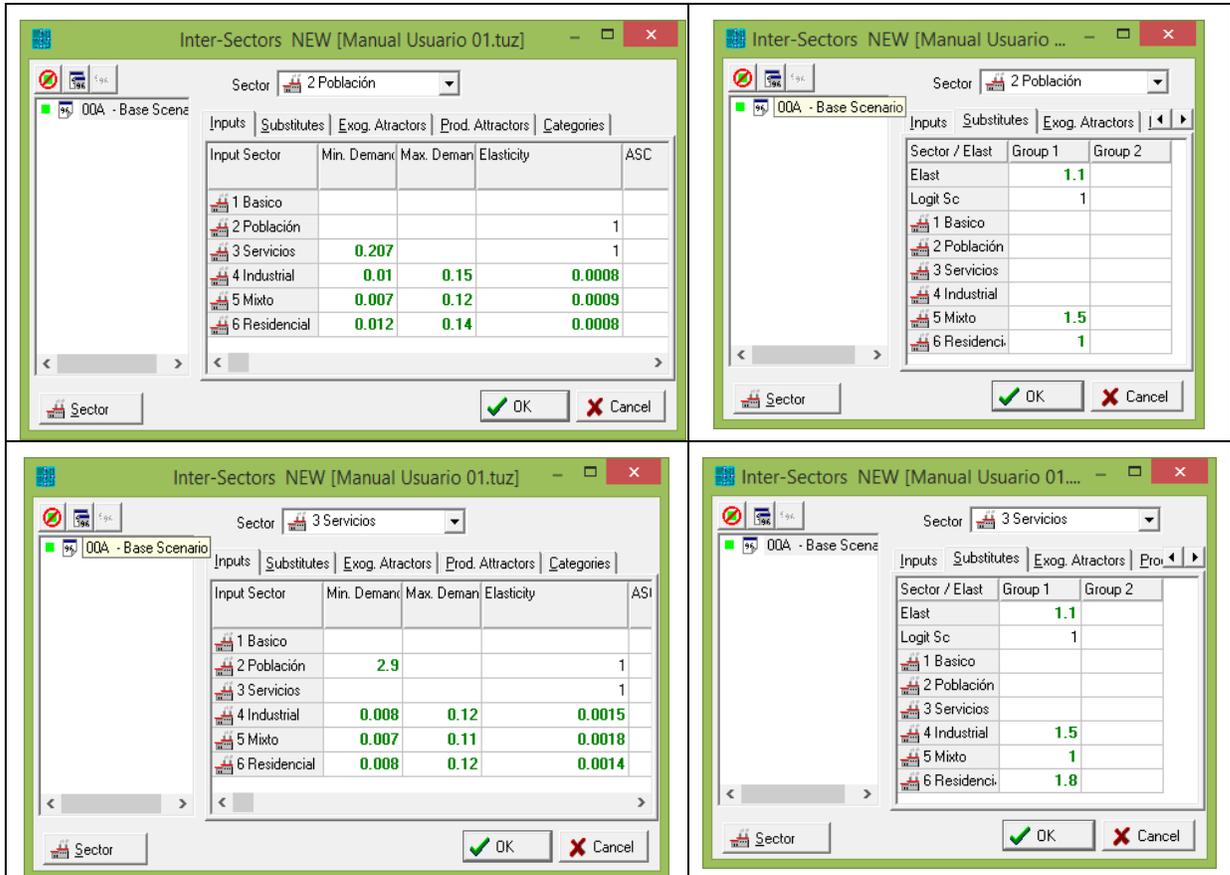
En la mayoría de los casos las sustituciones se utilizan para representar mercados inmobiliarios. Un hogar, por ejemplo, puede consumir suelo residencial de alta densidad, baja densidad o suelo mixto. Para representar esto en el modelo, se debe *declarar* los sustitutos. Tomando el ejemplo anterior, con un solo tipo de suelo, podemos ahora introducir tres tipos de suelo: industrial, mixto y residen-

cial. Podemos suponer que el empleo básico y de servicio puede consumir cualquier tipo de suelo, mientras la población sólo consume mixto y residencial. En este caso la ventana Sectors se verá así:



Luego agregamos las funciones de demanda en cada sector que consume suelos, y definimos los sustitutos en la ventana *Inter Sectors*:



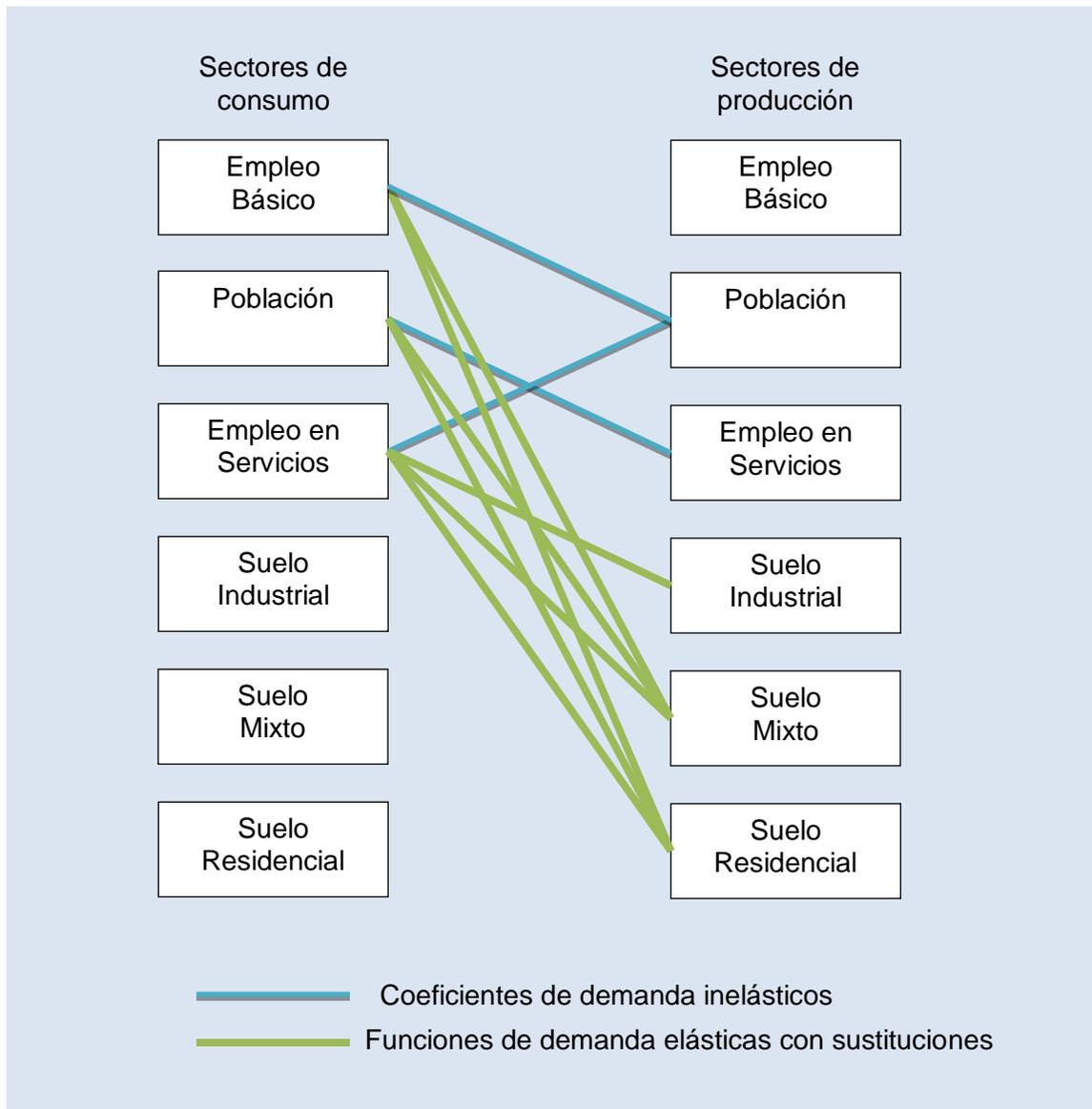


En el caso del empleo de servicio, por ejemplo, una unidad de empleo consume un mínimo de 0.008 unidades de suelo industrial, con un máximo de 0.12 y una elasticidad de 0.0015. En la pestaña Substitutes, el parámetro Elast con un valor de 1.1 corresponde al parámetro de dispersión del modelo logit utilizado para calcular las probabilidades de elección entre los tipos de suelo disponibles. Los parámetros asociados a cada tipo de suelo corresponden a penalidades, con el suelo industrial = 1.5, mixto = 1 y residencial = 1.8. Esto significa que los empleos de servicio prefieren consumir suelo mixto, luego suelo industrial, y de último el suelo residencial, que sería el más penalizado.

La ventana Economic Data debe incorporar los datos de los tres tipos de suelo, con valores de cantidades y precios en cada zona.

Posibles configuraciones

El modelo que acabamos de especificar arriba puede ser representado en un diagrama:



Este esquema es un modelo típico urbano. En la mayoría de las aplicaciones se divide a la población en al menos tres estratos socioeconómicos, y el sector servicios en tres o cuatro categorías. En estos diseños las actividades están consumiendo suelo directamente, con elasticidades y sustituciones. En el modelo de Swindon (documentado en detalle en la sección en inglés de www.tranus.com) se introdujeron categorías de edificaciones entre las actividades y los suelos. Los hogares de varias categorías (la población está representada en unidades de hogares), consumen espacio construido de categorías tales como viviendas aisladas, pareadas, continuas, o apartamentos. A su vez, cada tipo de edificación consume suelo de diversos tipos, tales como suelo residencial de alta densidad, de baja densidad, suelo mixto, etc. Como puede verse, en TRANUS se puede representar mercados inmobiliarios de considerable complejidad.

Las aplicaciones regionales tienden a seguir el esquema clásico del modelo de insumo-producto, en que la producción se divide en sectores como agricultura, minería, manufactura, servicios privados, y otros. Las importaciones y exportaciones se representan explícitamente. La producción puede representarse en términos monetarios o físicos (toneladas). Luego varios tipos de empleo pueden generarse a partir de la producción, y a su vez, el empleo puede generar varios tipos de población. El suelo puede incorporarse para representar el sector agricultura o silvicultura. Más adelante se verán ejemplos de estos esquemas de modelación.

Atractores de la producción

4.3.3 Categorías de transporte

4.3.4 Relación entre sectores y categorías

4.4 Modos, operadores y rutas

4.5 Tipos de vía y administradores

4.6 Rutas de transporte público

4.7 Codificación de la red viaria multimodal

4.8 Tarifas integradas

4.9 Viajes exógenos

5 Calibración

5.1 Construcción de pasos

5.2 Transporte inicial

5.3 Coeficientes intersectoriales

5.4 Funciones de demanda elásticos

5.5 Funciones de distribución de la producción

5.6 Funciones de generación de viajes

5.7 Ajustes al reparto modal y la asignación

6 Proyecciones

6.1 Definición de escenarios

6.2 Proyecciones macroeconómicas

6.3 Proyección de variables de transporte

6.4 Cálculo de los escenarios y reporte de resultados

7 Evaluación

7.1 Procedimiento de evaluación en TRANUS

7.2 Beneficios a los usuarios

7.3 Beneficios a los productores

7.4 Tabla de costos y beneficios: B/C, TIR y VAN

7.5 Emisiones