



Modelación de la Accesibilidad en ArcView 3

**Una extensión para calcular el tiempo de viaje y
obtener información sobre captación de mercados**

por

Andrew Farrow y Andy Nelson

2001

Agradecimientos

Instalación

Introducción

Descripción

Ejemplo

Referencias

Notas Técnicas sobre ArcView

Agradecimientos

- Los datos utilizados en los ejemplos fueron tomados de la base de datos que el CIAT desarrolló para Honduras. En la siguiente dirección pueden encontrarse más detalles: <http://www.ciat.cgiar.org/scale/data>
- La sección de Notas Técnicas sobre Arcview ha sido adaptada de la documentación suministrada con ArcView 3.2™.
- Varias partes del Analista de Accesibilidad se basaron en los escritos originales encontrados en el sitio web 'Arcscripts', de ESRI: <http://www.esri.com/arcscripts>.

Escrito original	Autor
Cost Distance Grid Tools	ESRI
Graphics.Graphics2Shapes	mike.g.delaune@state.or.us Departamento de Ciencias Forestales de Oregon
Make Extension Tools	ESRI
Clipping Grids	Tom Van Niel

- Los donantes del CIAT proporcionaron generosamente los recursos para financiar el desarrollo de este software. En especial, nos gustaría mencionar los siguientes:
 - Fondo Fiduciario Ecorregional para el Desarrollo Metodológico
 - Banco Mundial
 - PNUMA
- Las siguientes personas relacionadas con el CIAT hicieron aportes a las ideas que llevaron a la realización de este software y del manual:

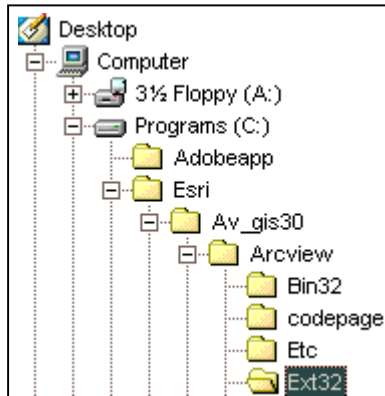
Andy Farrow, Andy Nelson, Manuel Winograd, Jeremy Eade, Gregoire Leclerc, Ron Knapp y William Bell.

Instalación bajo Windows



Esta extensión requiere ArcView 3 y la extensión Spatial Analyst

- 1 Descomprima el archivo `CIAT_access.zip`.
- 2 Localice `ciat_access.avx` en el directorio de extensión.



Puede necesitar algún privilegio del administrador para realizar esta operación.

- 3 Localice el directorio `ciat_access` donde desee. Este contiene el manual y los conjuntos de datos del ejemplo.
- 4 Inicie ArcView y la extensión estará disponible en el diálogo de Extensiones como **Access Analyst (Ver. 2.0)**

Instalación bajo UNIX



Esta extensión requiere ArcView 3 y la extensión Spatial Analyst

- 1 Descomprima el archivo `CIAT_access.Z`.

```
$> uncompress CIAT_access.Z
```

- 2 Localice `ciat_access.avx` en el directorio de extensión. Asumimos que su sistema tiene la variable de ambiente `$AVHOME`.

```
$> CP access.avx $AVHOME/ext
```

Es posible que necesite ser un superusuario para realizar esta operación.

Si su sistema tiene la variable ambiental `$USER_EXT`, usted tiene la alternativa de colocar `ciat_access.avx` en ese directorio.

- 3 Coloque el directorio `ciat_access` donde desee. Este contiene el manual y las bases de datos del ejemplo.
- 4 Inicie ArcView y la extensión estará disponible en el diálogo de Extensiones como **Access Analyst (Ver. 2.0)**.

Introducción

Accesibilidad

El transporte es un factor decisivo para una economía porque afecta no sólo el movimiento de personas, bienes y servicios, sino el desarrollo como tal. En la mayoría de los países, una red compleja de transporte invade el medio rural con senderos, caminos “de herradura” (para caballos y burros), vías estacionales de un solo carril, carreteras de grava de uno y dos carriles para todas las condiciones del tiempo, carreteras locales pavimentadas, carreteras regionales y nacionales pavimentadas, y autopistas con separador central y varios carriles. Con cada una de estas vías se asocia una velocidad característica de viaje que puede ajustarse considerando la pendiente, el tipo de vehículo que la recorre, la precipitación que cae durante períodos de 2, 3 ó 7 días, o la congestión del tráfico. El objetivo final es calcular el tiempo que se gasta desde cualquier punto del mapa hasta el mercado local, el hospital o la escuela más cercanos, utilizando un tipo específico de vehículo. El tiempo que se gasta para llegar a una localidad deseada puede denominarse, en términos generales, como la ‘accesibilidad’ de ese sitio.

La **accesibilidad** puede definirse como la capacidad de interactuar o de hacer contacto con sitios en que hay oportunidades económicas o sociales (Deichmann, 1997). Ahora bien, este concepto intuitivo ha sido expresado de muchas maneras en la bibliografía. Goodall (1987) define la accesibilidad como la facilidad con que se puede llegar a un sitio desde otras localidades, y Geertman (1995) expresa que el concepto de accesibilidad puede utilizarse en la política de desarrollo rural como un indicador de carencia rural y como una variable en el análisis de localidades.

Durante los últimos 10 años se ha despertado cada vez más la conciencia de que la accesibilidad rural es más importante que las carreteras (Barwell, 1996). Los informes y las encuestas llevadas a cabo en las regiones en desarrollo pintan una imagen de aislamiento rural y de uso improductivo de los recursos limitados, en la cual el agricultor es, en muchos aspectos, un habitante de un mundo en

movimiento. En la introducción a su publicación *Transport and Village*, Cleaver afirma lo siguiente:

No cabe duda que el estado extremadamente deficiente del sistema de transporte por carretera en África actúa como un potente freno en la productividad y el crecimiento agrícolas. Si se mejora la accesibilidad, disminuirá el costo económico de transportar los productos desde los mercados locales y se reducirán los obstáculos que impiden los servicios sociales. Este resultado contribuirá al crecimiento económico y mejorará el bienestar social.

Ahora bien, antes de que los gobiernos de los países puedan proporcionar ambientes que propicien el desarrollo de la infraestructura local, es necesario establecer un modelo que incorpore los factores medioambientales locales que definen la *falta de accesibilidad* rural. Además, cualquier modelo debe ser lo suficientemente flexible no solo para cuantificar el tiempo y el costo de un viaje sino también los escenarios de mejoramiento (o de degradación) de la infraestructura que serían creadas y evaluadas.

Obviamente, hay diferentes niveles de disponibilidad de la infraestructura, de disponibilidad del transporte y hay muchos efectos ambientales diferentes y consideraciones económicas. Por ejemplo, sería imposible aplicar el mismo modelo de accesibilidad rural a África Sub-sahariana Occidental y a las laderas centroamericanas. Cualquier modelo, sin embargo, debe ser capaz de incorporar todos estos factores de una manera que sea no solo sensible y geográficamente sensitiva sino también educativa y aclaratoria.

Antecedentes

La accesibilidad espacial está determinada por la ubicación geográfica en relación con las localidades elegidas, y por los servicios de transporte disponibles para llegar a esos destinos. La accesibilidad también está influida por factores sociales como el conocimiento y la información, y por factores económicos ya que el uso de los servicios de transporte y de comunicación está asociado

generalmente con un costo monetario. Aunque es difícil incorporar abiertamente estos factores económicos en los modelos espaciales, la ponderación selectiva de un mercado puede implicar el estudio de las dimensiones sociales y económicas de otro.

Un objetivo importante de la planificación pública es la prestación equitativa de servicios a todos los ciudadanos y en todos los sitios del país. Por ejemplo, los integrantes de la población de un país o una región deben tener un acceso similar a los servicios públicos, cualquiera que sea su lugar de residencia. La infraestructura deficiente y, en consecuencia, la accesibilidad limitada implican menos oportunidades para mejorar la situación económica, la salud o la posición social. Ravallion (1996), por ejemplo, habla de una “trampa espacial de la pobreza” que impediría a la población de escasos recursos superar las limitaciones del nivel local.

Las medidas cuantitativas de la accesibilidad que tienden a ser operativas son, por consiguiente, útiles para analizar una política en que el enfoque está en la provisión de servicios, por ejemplo, en el sector de la salud. Otras áreas en que es importante la accesibilidad son las aplicaciones económicas y, en efecto, muchas de las medidas operativas de la accesibilidad han sido desarrolladas primero para la investigación del mercado de trabajo y para el análisis del comercio minorista.

Los sistemas de información geográfica (SIG) se prestan naturalmente para el cálculo de los indicadores de accesibilidad. Los SIG pueden hacer una representación de las redes, los pueblos o los servicios y aportar funciones para calcular las distancias y para definir las relaciones que existen entre objetos espaciales. En consecuencia, pueden calcularse ciertas medidas de accesibilidad empleando paquetes como IDRISI, GRASS y ArcView.

No obstante, brillan por su ausencia los modelos graduales o de uso fácil con los cuales se elaboran mapas de transporte, superficies de accesibilidad y áreas de captación económica de los centros habitados y de los mercados. Es extraño que no existan estos elementos en la caja de herramientas del planificador, dado que la accesibilidad se considera un indicador de potencial económico de

gran importancia y una presión innegable sobre los sistemas ecológicos. Una posible explicación de esta situación es la definición deficiente de accesibilidad; mucha gente habla de accesibilidad y hay muchas opiniones dispares sobre la noción real de accesibilidad. La siguiente sección describe un método instrumental de SIG sencillo pero flexible que permite derivar modelos verificables de accesibilidad.

Descripción

Para empezar, es necesario aclarar algunos términos que se usarán en este modelo. La accesibilidad se calcula en una *superficie de fricción*. Una superficie de fricción consta de una cuadrícula bidimensional corriente, donde cada celda de la cuadrícula representa ya sea una forma de transporte, como carreteras, líneas férreas, trochas o ríos navegables, o ya extensiones de tierra y de agua relativamente inaccesibles.

Los distintos tipos de infraestructura de transporte poseen características diferentes. Una carretera pavimentada, por ejemplo, permite desarrollar una velocidad de viaje más alta que una carretera sin pavimentar. En consecuencia, no es suficiente en la práctica medir la *distancia* de carretera que une dos puntos. Es preferible una medida del *costo del viaje*. Este costo puede medirse en términos monetarios o como *tiempo de viaje*. Se tratará posteriormente en esta sección la forma de calcular fácilmente el costo de un viaje por diferentes terrenos y ambientes.

Los sitios objetivo (lugares de interés), como pueblos, hospitales o parques nacionales, se encuentran generalmente en la red de transporte y pueden representarse, por tanto, en otra cuadrícula como celdas que tienen una característica propia. Esta característica podría ser el número de habitantes del pueblo, el número de doctores o de camas del hospital o el número de profesores de una escuela. Si estamos interesados simplemente en la presencia o ausencia de un lugar de interés, entonces todas las celdas tendrían el mismo valor.

Para generar un mapa de accesibilidad se necesita la siguiente información:

- **Una cobertura de los mercados o lugares de interés.**
- **Una cuadrícula donde el valor de cada celda representa el costo de recorrer esa celda específica.**

Estos dos conjuntos de datos se introducen en un modelo de COSTO-DISTANCIA que se tratará más detalladamente en la sección de Notas Técnicas sobre ArcView.

Hasta ahora, el problema parece trivial; la idea de la función de costo-distancia es sencilla y los datos requeridos son muy pocos. En realidad, estas son dos de las razones que invitan a seleccionar este tipo de análisis. Sin embargo, hay varios puntos que conviene considerar.

1. **Necesita datos geográficos que estén en una Proyección de Areas Iguales (por ejemplo, Lambert Azimuthal) para preservar las cualidades del área.**



Este es un punto clave. Las notas técnicas de ArcView GIS y de ArcInfo establecen que cualquier dato que sea utilizado para el algoritmo costo-distancia debe estar en una proyección de áreas iguales. Para regiones o áreas muy pequeñas próximas al Ecuador, esta condición puede no ser tan crítica.

2. **Es poco probable que haya una superficie de fricción lista para ser usada.**
3. **La superficie de fricción es totalmente dependiente del usuario y de la finalidad y, posiblemente, cambiará si se modifica el escenario; es decir, a pie/en vehículo, en estación húmeda/en estación seca.**

4. **El procesamiento previo necesario para generar las cuadrículas de áreas iguales que se proyectan.**

Con estas nociones en mente, se elaboró en el CIAT una interfaz para realizar, en forma rápida e intuitiva, este tipo de análisis espacial.

ArcView GIS fue elegido como el entorno de trabajo para esta actividad. Trabajos anteriores en el CIAT habían utilizado ArcInfo y su macrolenguaje asociado AML para producir superficies de accesibilidad; sin embargo, la versión 3 de ArcView le había dado suficiente madurez como para permitirle elaborar la interfaz utilizando su lenguaje Avenue.

La extensión ArcView aborda todos estos temas mediante una definición o concepto sencillo de accesibilidad.

¿Cuál es el costo de trasladarse desde cualquiera ubicación al lugar de interés más cercano?

Esta es una pregunta muy amplia, en la que *costo* puede ser:

- **Costo real (costo del transporte)**
- **Costo percibido (costo del transporte más otros factores)**
- **Tiempo (simplemente el tiempo gastado para llegar al sitio)**
- **Tiempo percibido (tiempo de viaje más los factores introducidos por la modalidad del transporte)**
- **Cualquier otro concepto de costo que el usuario pueda expresar**

Un *lugar de interés* puede ser:

- **Un mercado donde los productos son comprados o vendidos (ciudades grandes)**

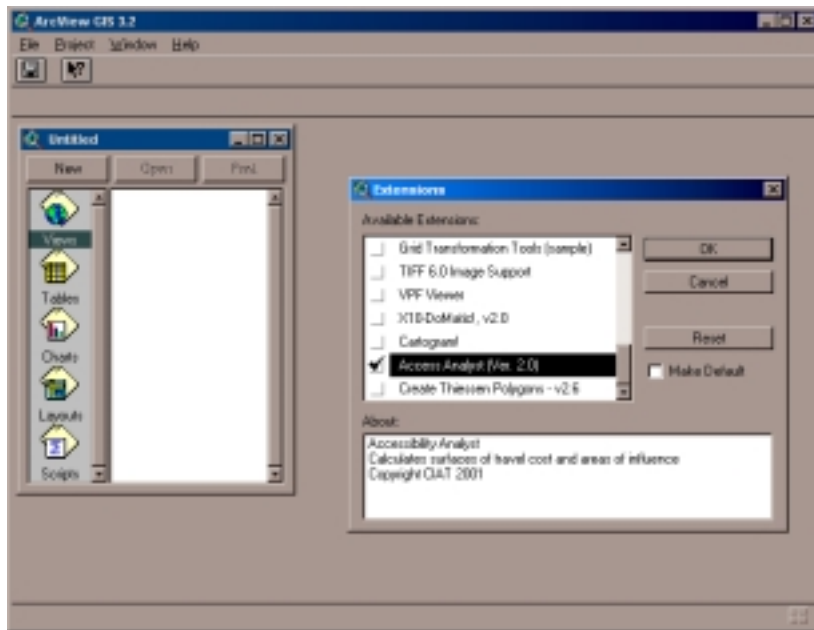
- Una industria de servicios (la denominada zona empresarial)
- Un hospital o una escuela
- Un parque nacional o cualquier otra área amenazada por el desarrollo humano

La *ubicación* puede ser cualquier lugar en el área de estudio.

La siguiente sección es una introducción gradual a la extensión ArcView™.

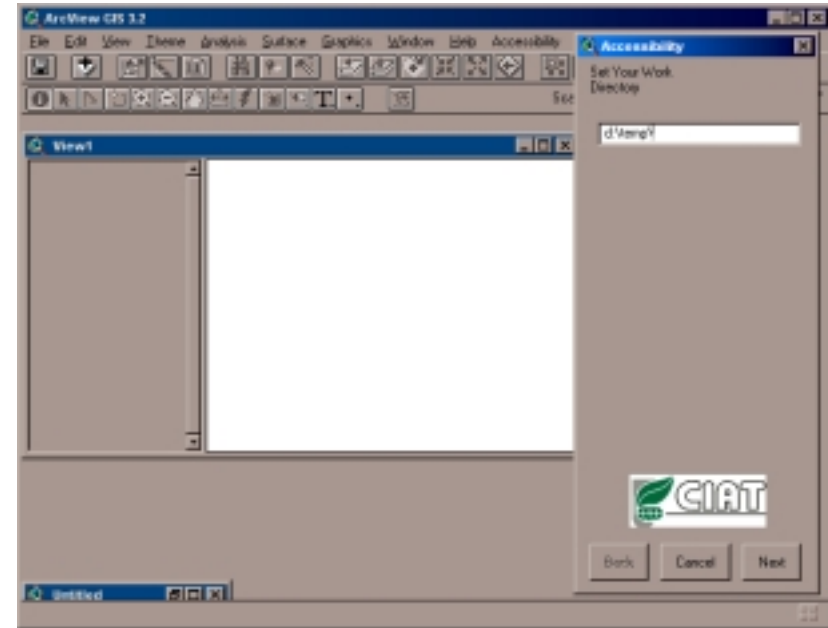
Ejemplo

Cargue la extensión Access Analyst



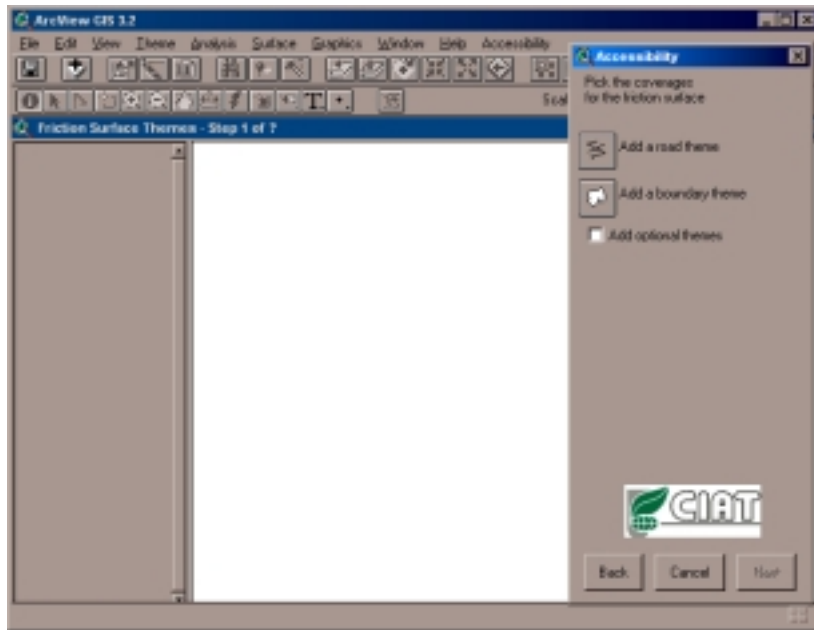
En la caja de diálogo de la extensión, seleccione Access Analyst en la lista. Así se cargarán las extensiones Access Analyst y Spatial Analyst.

Abra una nueva Vista



El menú de Accesibilidad se agregará a la barra del menú Vista. Hay dos opciones en el menú: English o Español. Seleccione el idioma preferido para comenzar el análisis. Entonces la caja de diálogo de Accesibilidad aparecerá en pantalla, y le pedirá que indique un directorio en que se colocarán todas las cuadrículas y coberturas temporales. No podrá continuar a la etapa siguiente hasta que haya digitado un directorio válido. Cuando lo haya digitado, haga clic en *Próxima*.

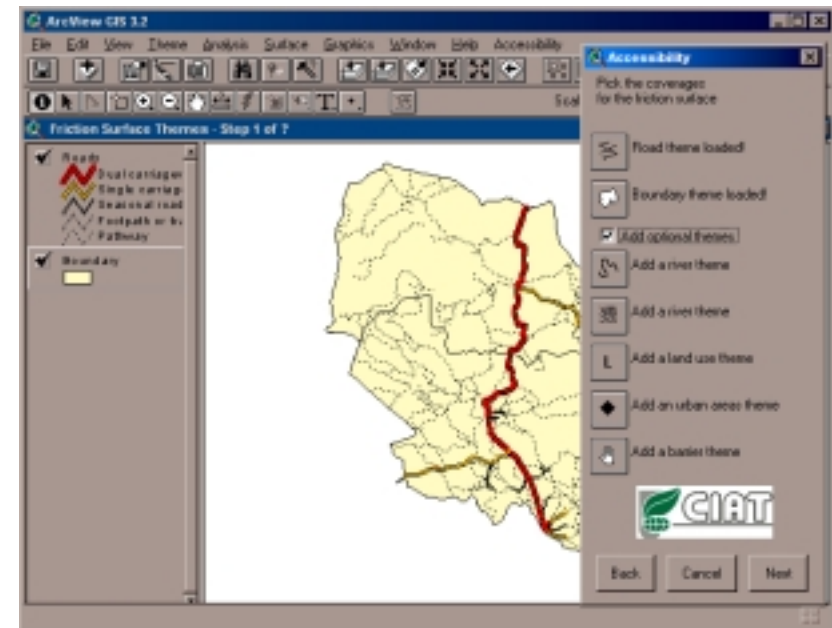
Agregue los temas de fricción a la Vista



Se abrirá una nueva pantalla de visualización llamada Temas para la Superficie de Fricción. Se necesitan, al menos, dos conjuntos de datos para generar el tema fricción: una cobertura que tiene el transporte o las carreteras y la cobertura que define el límite del análisis. Estos dos conjuntos deben cargarse antes de que pueda incluirse cualquier componente opcional de fricción. Al hacer clic en los botones, se abrirá la ventana *Cargar los temas para la superficie de fricción* y se le indicará que añada los temas.

El texto que aparece al lado de cada botón confirmará que el tema ha sido cargado. Se pueden cambiar los temas haciendo clic en el botón de un tema elegido para suprimir la elección actual y seleccionar nuevos temas. Una vez hayan sido agregados los dos

temas, puede hacer clic en *Próxima* para seguir adelante o puede añadir temas opcionales haciendo clic en el recuadro de control. En este ejemplo añadiremos más temas para la superficie de fricción.

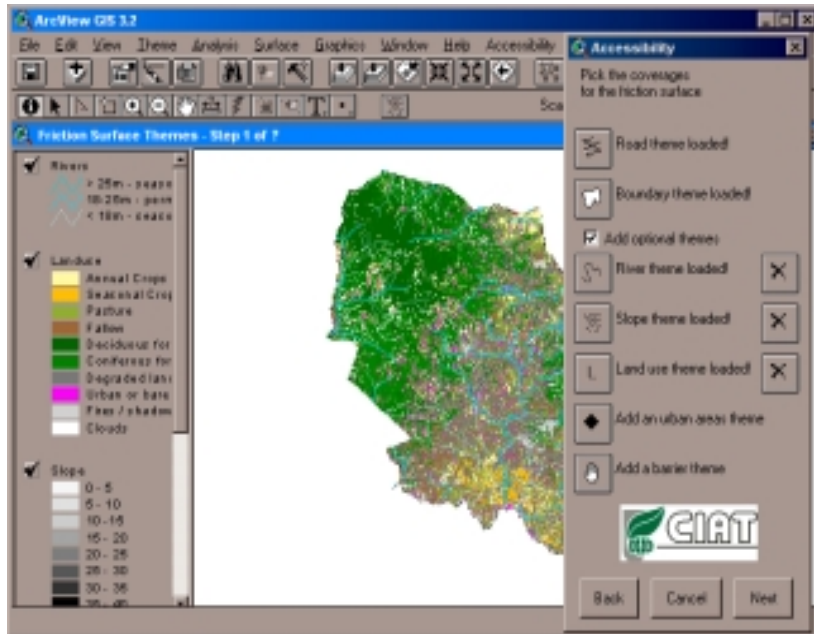


Hay cinco opciones disponibles:

- Ríos
- Pendientes
- Cobertura del suelo
- Areas urbanas
- Barreras

Según el análisis que se haga, usted podría incluir uno o varios de estos temas como factor que contribuye a la superficie de fricción. En este ejemplo agregaremos Ríos, Pendientes y Cobertura del Suelo.

Cuando se cargue un tema, aparece al lado un nuevo *botón x*; si se hace clic en este botón, se suprimirá el tema respectivo y usted podrá escoger otro tema para reemplazarlo.

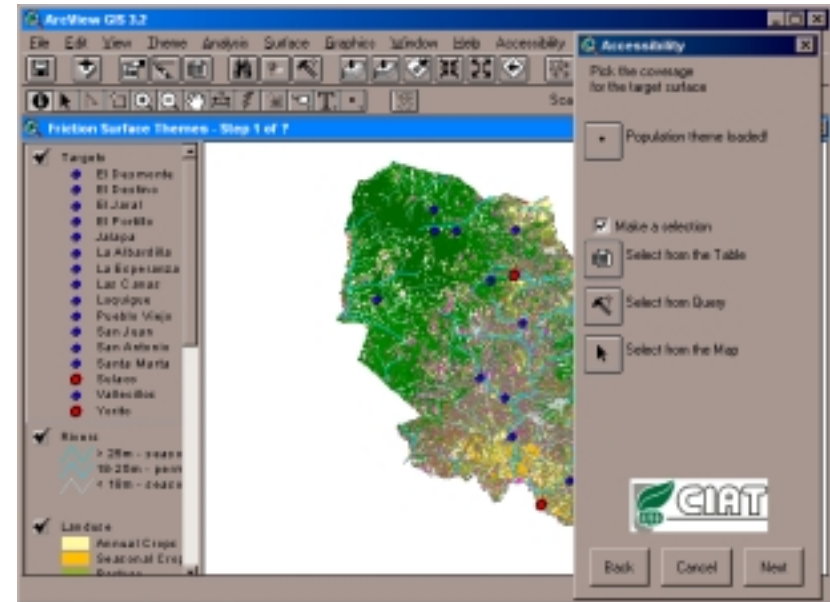


Una vez agregados todos los temas opcionales para superficie de fricción, haga clic en el botón de control *Añadir Temas Opcionales* para ocultar los temas opcionales y luego haga clic en *Próxima*. Utilice el botón *Regresar* si quiere regresar a una etapa anterior en cualquier momento del análisis.

Agregar a la Vista un tema origen o un tema objetivo

El tema final necesario es el tema puntual original o objetivo; es decir, un conjunto de datos que contiene todos los puntos para calcular la accesibilidad a un sitio. Como antes, haga clic en el botón *Añadir Tema Objetivo* para cargar un conjunto de datos de origen o elección. Una vez cargado, se puede visualizar el botón de

control *Hacer una Selección*. Si no desea alterar los puntos que ha cargado, puede hacer clic en *Próxima* para continuar, pero si desea hacer una selección, haga clic en el botón de control.



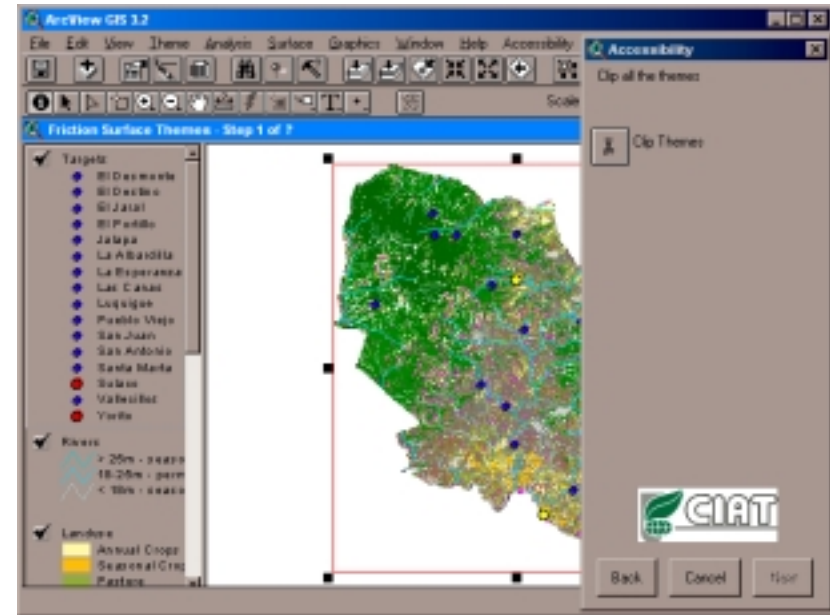
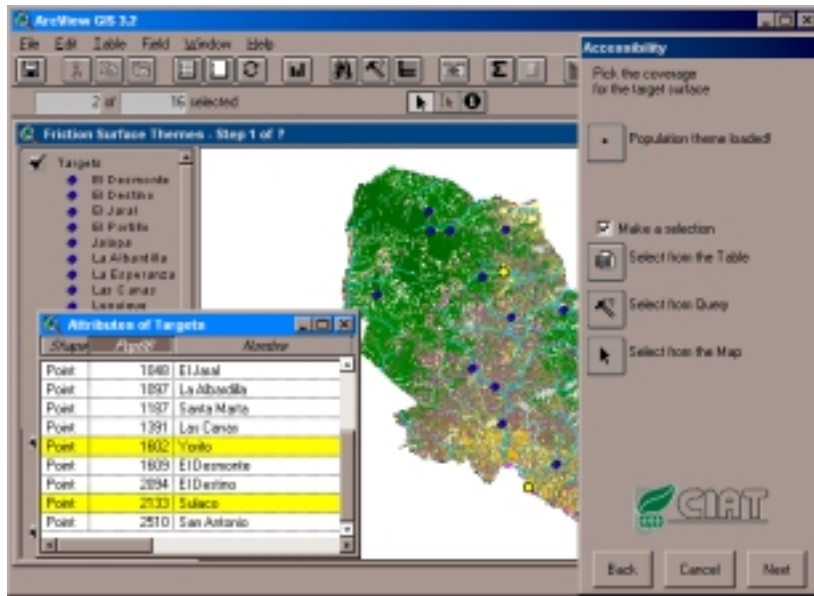
Hay tres opciones para hacer subselecciones en el conjunto de datos de puntos.

- Seleccionar desde la Tabla
- Seleccionar desde una consulta
- Seleccionar desde el mapa

Aquí haremos una subselección basada en la pantalla del conjunto de datos. Al hacer clic en *Seleccionar la Tabla*, aparece la Tabla, el registro puede ser seleccionado y será resaltado (generalmente en amarillo) en la Vista. En este caso, seleccionamos dos puntos de dieciséis.

Una vez hecha la selección, haga clic de nuevo en el botón de control para ocultar las opciones, y haga clic en *Próxima*.

Si no desea reunir los temas, deje el botón en su posición original y simplemente haga clic en *Combinar los Temas*.



Reunir todos los temas en un ámbito espacial común

Hasta ahora hay al menos tres temas en la Tabla y quizás hasta ocho. En el caso de que estos temas no compartan un ámbito espacial común, es necesario juntarlos.

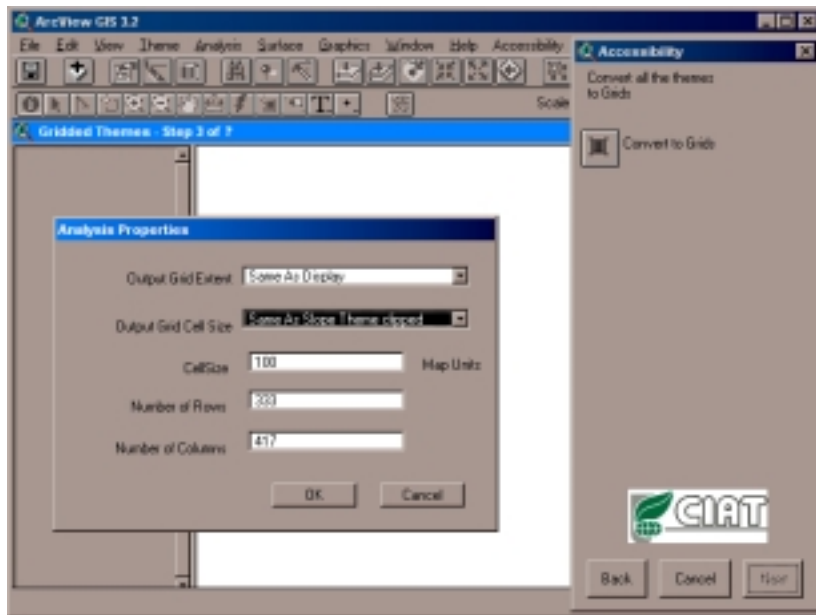
Todos los temas reunidos serán transferidos a una nueva Vista llamada "*Temas combinados*". Haga clic ahora en *Próxima* para pasar a la siguiente etapa.

Una ventana explicará que una caja roja que aparecerá en la Vista puede modificar interactivamente su tamaño si usted desea reunir los temas. Haga clic en *Ok* y aparecerá la caja roja. Puede reajustar el tamaño del botón hasta que se haya enfocado en su área de interés. Cuando esté listo, haga clic en *Combinar los Temas*. Si algunos de sus temas son complejos o extensos, esta operación puede tomar algún tiempo, que puede aprovechar para tomarse un café.

Convertir todos los temas a formato "grid"

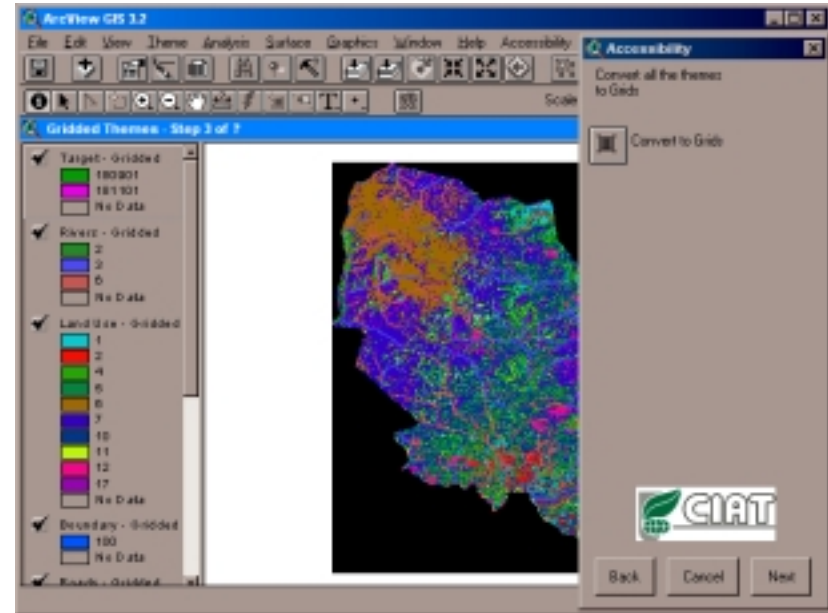
El algoritmo de costo-distancia solo funcionará con conjuntos de datos en cuadrículas; por tanto, esta etapa convierte todos los conjuntos de datos en cuadrículas ("grid"). Una ventana pedirá las propiedades de análisis que serán fijadas, siendo la propiedad más importante el tamaño de la celda. En este caso, podemos fijar el tamaño de la celda haciéndolo igual a la cuadrícula de pendientes (100 m), que es además un número fácil de utilizar para los cálculos que tienen que hacerse en las últimas etapas. Cuando se haya

fijado el tamaño de la celda, haga clic en la ventana Ok para comenzar el proceso de conversión a cuadrículas. Todas las cuadrículas aparecerán en una nueva Vista denominada “Temas Convertidos a Formato Grid.”



Para cada cuadrícula, se le pedirá elegir el campo de la Tabla que se necesitará para establecer los valores de la cuadrícula. Elija el valor que considere más apropiado y escoja la opción *No* cuando se le pida juntar los atributos con la cuadrícula.

Cuando hayan sido convertidos todos los temas, haga clic en *Próxima*.



Reclasificar las cuadrículas para que se manifieste su valor de fricción

En esta etapa, deben reclasificarse todas las cuadrículas para que el valor de cada celda represente el costo o el tiempo requeridos para atravesar la celda. Por ejemplo, con una cuadrícula constituida por carreteras, podemos calcular que un automóvil puede viajar a 60 km/h; por tanto, a todas las celdas de carreteras en una cuadrícula de 100 m se les daría el valor 6

$$60 \text{ km/h} = 60,000 \text{ m/h} = 1000 \text{ m/min.}, \text{ de manera que para recorrer } 100 \text{ m se gastan } 6 \text{ segundos.}$$

Para cobertura del suelo, la velocidad promedio de la marcha a pie se calcula en 4 km/h, pero se reduce a 3 km/h en un bosque, dando valores de 90 y 120 segundos, respectivamente:

4 km/h = 4000 m/h = 67 m/min, de manera que para recorrer 100 m se gastan 90 segundos
 3 km/h = 3000 m/h = 50 m/min, de manera que para recorrer 100 m se gastan 120 segundos

En este caso, esos valores tienen que ser calculados para cada uno de los siguientes elementos:

- tipo de carretera
- tipo de río
- tipo de cobertura del suelo (valor de fondo)
- límite (este valor no es importante)

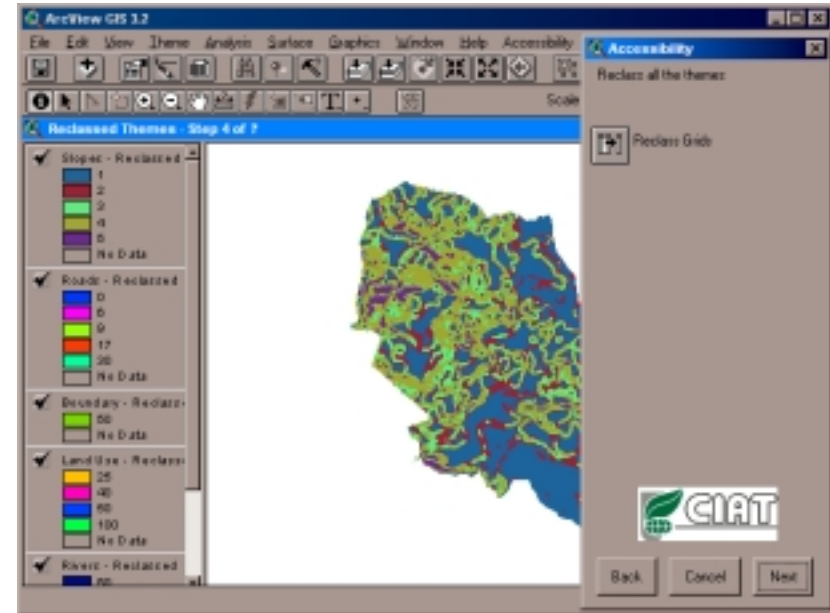
En este caso, tenemos un tamaño pequeño de celda, de manera que el costo será calculado en segundos, aunque también podría calcularse en minutos u horas. El factor general de conversión para pasar km/h a segundos es el siguiente:

$$Tiempo = \text{Tamaño de celda.} \times \left(\frac{1}{\left(\text{Velocidad (km/h)} \times \left(\frac{1000}{3600} \right) \right)} \right)$$

La pendiente es un caso especial y allí necesitamos calcular un factor de pendiente; es decir, qué tanto afecta la pendiente la velocidad de viaje con respecto a otras superficies. Por ejemplo, las pendientes entre 0 y 5 grados quizás no tengan influencia, de manera que el factor sería 1; pero las pendientes entre 5 y 10 grados reducirían a la mitad la velocidad del viaje, de modo que el factor sería 2, etc. No hay ningún cálculo respecto a la dirección de la pendiente; se supone que viajar tanto hacia arriba como hacia abajo de la pendiente implica una reducción de la velocidad de viaje.

Haga clic en el botón *Reclasificar* para iniciar la etapa y utilice las ventanas que aparecen para reclasificar cada cuadrícula. Todas las

cuadrículas aparecerán en una nueva Tabla denominada “Temas Reclasificados”. Si desea cambiar la clasificación de cualquiera de las cuadrículas, haga de nuevo clic en *Reclasificar* para repetir el proceso. Cuando hayan sido reclasificados todos los temas, haga clic en *Próxima*.



Combinar las cuadrículas de fricción en una sola

El algoritmo de costo-distancia requiere sólo dos insumos: un tema de fricción y un tema objetivo. En esta etapa, todos los componentes de fricción (carreteras, ríos, límites, etc.) se fusionan para generar una cuadrícula. Haga clic en el botón *Combinar temas* para lograr este efecto. Cuando aparezca la cuadrícula de Fricción, haga clic en *Próxima* para continuar.

Las cuadrículas se fusionan utilizando la siguiente lógica, celda por celda.

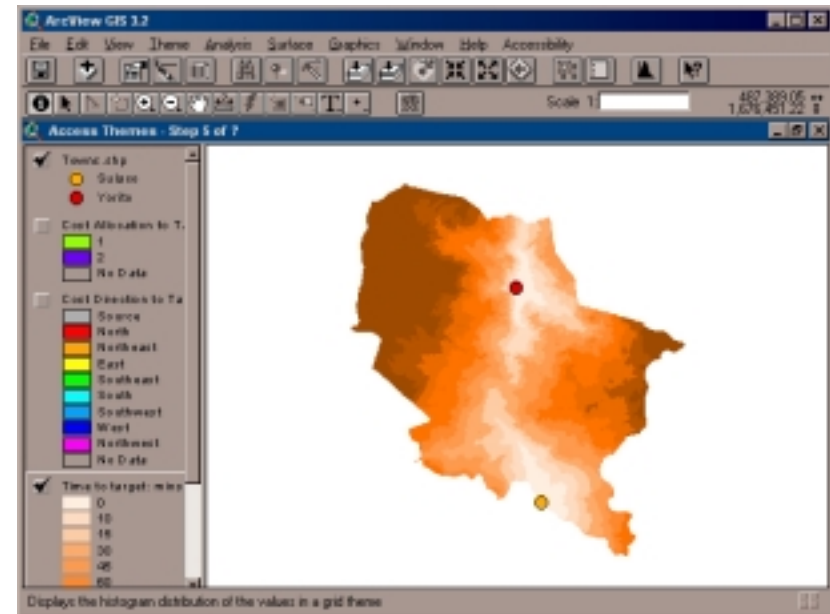
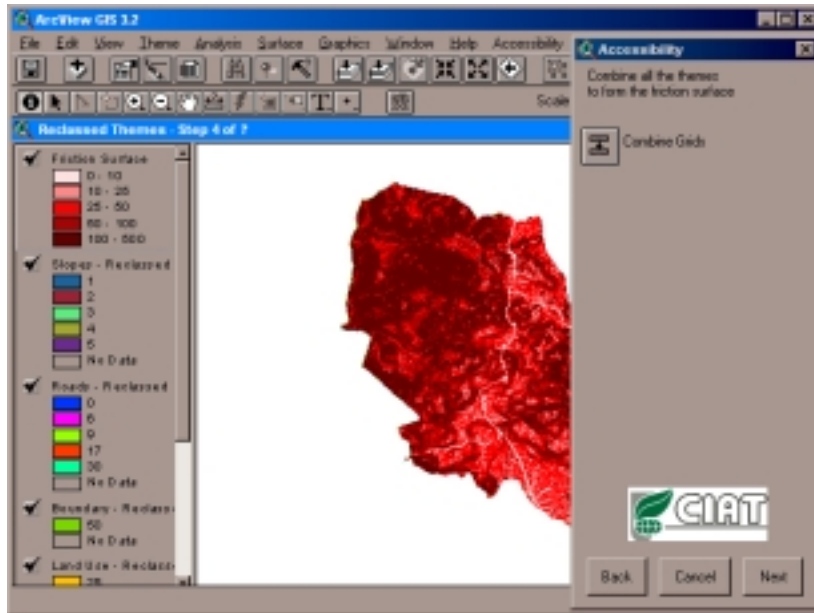
```

para cada in_cell
{
  si in_cell = barrera
    out_cell = barrera x pendiente
  pero si in_cell = carretera
    out_cell = carretera x pendiente
  pero si in_cell = río
    out_cell = río
  pero si in_cell = área urbana
    out_cell = área urbana x pendiente
  pero si in_cell = cobertura del suelo
    out_cell = cobertura del suelo x pendiente
}
    
```

Ejecutar la función costo-distancia

Al hacer clic en costo-distancia se dará inicio al algoritmo. Se generarán tres cuadrículas:

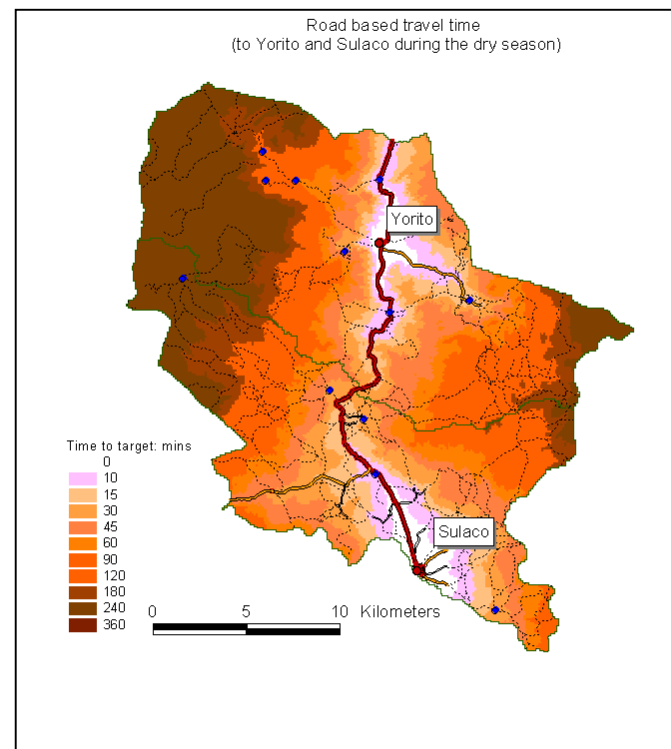
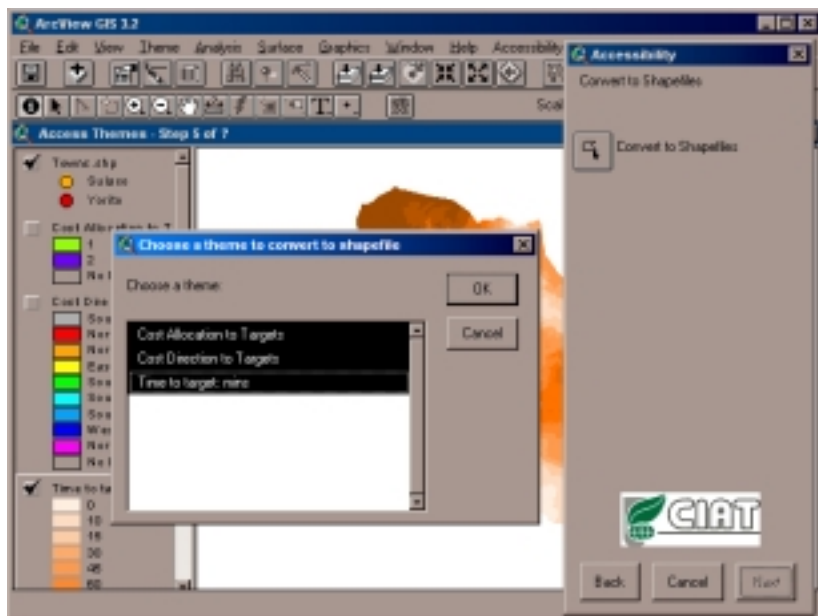
- **cuadrícula de ubicación:** indica el área de captación de cada selección;
- **cuadrícula de dirección:** indica la dirección del viaje a través de cada celda;
- **cuadrícula de ‘tiempo hasta el mercado’:** indica el costo del viaje desde cada celda hasta la meta más cercana (meta definida por la cuadrícula de ubicación).



Aquí se muestra la cuadrícula de ‘tiempo hasta el mercado’, que fue calculada en segundos pero ha sido reclasificada en minutos para mayor claridad. También hemos cargado las dos metas en la Tabla. Haga clic en *Próxima* para continuar.

Convertir los resultados en “shapefiles”

La etapa final le permite al usuario convertir los tres resultados en shapefiles. Si el área de estudio es grande o la superficie de ‘tiempo hasta el mercado’ es compleja, esta conversión puede tomar mucho tiempo. Una opción deseable sería reclasificar las cuadrículas (segundos a minutos o minutos a horas, por ejemplo) y luego convertirlas en shapefiles.



Un mapa que integra el ‘tiempo hasta el mercado’, la red de transporte y todos los sitios poblados en las inmediaciones de Yorito y Sulaco, en Honduras.

Bibliografía

- Archondo-Callao R; Faiz A. 1994.** *Estimating vehicle-operating costs.* Banco Mundial. Documento técnico no. 234. 82 p.
- Barwell I. 1996.** *Transport and the village: Findings from Africa-level travel and transport surveys and related studies.* Banco Mundial. Documento para discusión no. 344. 66 p.
- Chesher A; Harrison R. 1987.** *Vehicle operating costs: Evidence from developing countries.* The Highway Design and Maintenance Standards Series. Publicación del Banco Mundial. 374 p.
- Deichmann U. 1997a.** *Accessibility and spatial equity in the analysis of service provision,* Trabajo presentado en el Taller sobre "Geographical Targeting for Poverty Reduction and Rural Development", Banco Mundial, Washington D.C., noviembre 1997.
- Deichmann U. 1997b.** *Accessibility indicators in GIS.* Naciones Unidas, División de Estadística, Departamento de Análisis Económico y de Políticas, Nueva York.
- Deichmann U; Bigman D. 2000.** *Spatial indicators of access and fairness for the location of public facilities.* En: Bigman, David y Hippolyte Fofack (eds.). *Geographic targeting for poverty alleviation: methodology and application.* Banco Mundial, Estudios Regionales y Sectoriales, Washington DC.
- Eade J. 1997.** *The accessibility surface.* Correo electrónico de jeremy@epac.norway.ibm.com a a.farrow@cgjar.org (21/02/1997). CIAT, Cali, Colombia.
- Geertman SCM; Ritsema van Eck JR. 1995.** *GIS and models of accessibility potential: An application in planning.* International Journal of Geographical Information Systems 9:67.
- Dixon-Fyle K. 1998.** *Accessibility planning and local development.* International Labour Organisation. Informe técnico.
- Kammeier HD. 1999.** *New tools for spatial analysis and planning as components of an incremental planning-support system.* Environment and Planning B 26:365-380.
- Leinbach T. 1995.** *Transportation and Third World development: Review, issues, and prescription.* Transportation Research 29A(5):337-344.
- Ravallion M. 1997.** *Good and bad growth: The human development reports.* World Development 25(5):631-638.
- Ritsema van Eck JR; de Jong T. 1999.** *Accessibility analysis and spatial competition effects in the context of GIS-supported service location planning.* Computers, Environment and Urban Systems 23:75-89.
- Teeffelen van P; Barkhof M; de Jong T. 2000.** *Applying a GIS for integrated accessibility planning in Laos using a PC based GIS -FLOWMAP- as a tool to plan facilities.* Trabajo presentado en el Quinto Seminario sobre SIG y Países en Desarrollo (GISDECO). International Rice Research Institute (IRRI), Laguna, Filipinas.
- Winograd M; Farrow A; Eade J. 1997.** *Environmental and sustainability indicators outlook for Latin America and the Caribbean.* CD-ROM con manual. UNEP-CIAT, Cali, Colombia. 27 p.
- Winograd M; Fernández N; Farrow A. 1998.** *Herramientas para la toma de decisiones en América Latina y el Caribe: indicadores ambientales y sistemas de información geográficos / Tools for making decisions in Latin America and the Caribbean: environmental indicators and Geographical Information Systems.* CIAT y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).
- Wolff de T; Kruska E; Ouma E; Thornton P; Thorpe W. 2000.** *Improving GIS derived measures of farm market access: An application to milk markets in the East African highlands.* Trabajo presentado en el Quinto Seminario sobre SIG y Países en Desarrollo (GISDECO). International Rice Research Institute (IRRI), Laguna, Filipinas.

Notas técnicas sobre ArcView

aGrid.CostDistance(costGrid,direction,allocation,maxDistance)

Una función del Spatial Analyst que calcula, para cada celda, el valor costo-distancia menos acumulativo sobre una superficie de costo (**costGrid**) y lo hace para las celdas con valores distintos de *No Data* en **aGrid**, con la opción de producir conjuntos de datos de las cuadrículas de dirección y asignación (**direction** y **allocation**).

La **dirección** puede ser un *Nombre de Archivo* o *Ninguno* y define el *Nombre de Archivo* para el conjunto de datos de las cuadrículas de dirección del costo opcional. La **asignación** puede ser un *Nombre de Archivo* o *Ninguno* y define el *Nombre del Archivo* para el conjunto de datos de las cuadrículas de asignación del costo opcional. Si **dirección** o **asignación** quedan fijados a *Ninguno*, el conjunto de datos de las cuadrículas de resultados opcional para el argumento que quedó fijado a *Ninguno*, no se calcula.

maxDistance puede ser un *Número* o *Ninguno* y define el umbral que no pueden exceder los valores de costo acumulativo. Si una celda excede de ese valor, se le asigna el valor de *No Data*. Si **maxDistance** que fijado a *Ninguno*, entonces se emplea el valor de infinito.

Esta solicitud iniciará la evaluación de **aGrid**, si no se ha evaluado todavía **aGrid**. Para obtener información adicional acerca de la evaluación de los objetos de las cuadrículas, remítase al tema de Discusión sobre el tipo de cuadrículas.

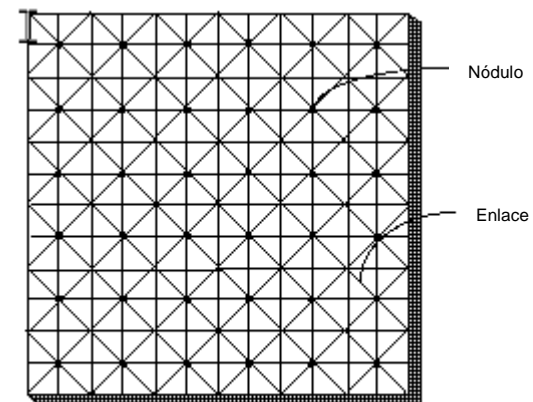
Esta solicitud sólo puede hacerse estando con Spatial Analyst.

Discusión del modelo costo-distancia

Estas funciones son similares a las funciones euclidianas de distancia; sin embargo, no calculan la distancia real de un punto a otro, sino que determinan la relación costo-distancia más corta (o el costo acumulado del viaje) desde cada celda hasta la celda más cercana en el conjunto de celdas de origen. Una segunda diferencia es que las funciones de costo-distancia miden la distancia no en unidades geográficas sino en unidades de costo.

Todas las funciones de costo-distancia requieren una Cuadrícula de origen y una Cuadrícula de costo. Una Cuadrícula de origen puede contener zonas sencillas o zonas múltiples, que pueden estar conectadas o desconectadas. Todas las celdas que tienen un valor (incluyendo 0) son procesadas como celdas de origen. A todas las que no son celdas de origen debe asignárseles *No Data* en la Cuadrícula de origen.

Una Cuadrícula de costos asigna impedancia en algún sistema de medición de unidades uniformes que ilustre el costo implicado en trasladarse a través de cualquier celda específica. Se supone que el valor de cada celda en la Cuadrícula de costo representa la distancia de costo-por-unidad que tiene el paso a través de la celda, donde una distancia unitaria corresponde a la anchura de la celda. Estos costos pueden ser tiempo de viaje, dólares, preferencia y otros.



Nódulos y enlaces: visita de una cuadrícula empleando la teoría de las gráficas

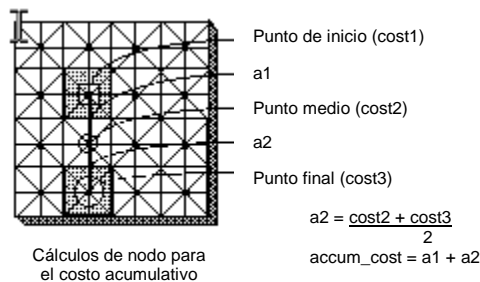
El cálculo de los costos

La solicitud **aGrid.CostDistance** crea una Cuadrícula de resultados en la cual a cada celda se le asigna el costo acumulativo respecto a la celda de origen más cercana. El algoritmo utiliza la representación de celdas con nodo/y enlace. En la representación de nodo y enlace, cada centro de una celda es considerado un nodo y cada nodo está conectado mediante enlaces con sus nodos adyacentes.

Cada enlace tiene una impedancia asociada. La impedancia proviene tanto de los costos asociados con las celdas en cada extremo del enlace (a partir de la superficie de costo) como de la dirección del movimiento. Cuando hay movimiento de una celda a una de sus cuatro celdas vecinas conectadas directamente, el costo de trasladarse a través de los enlaces hasta el nodo vecino es de 1 multiplicado por el costo de la celda 1 más el costo de la celda 2 dividido por 2.

$$a1 = \text{cost1} + \text{cost2}/2$$

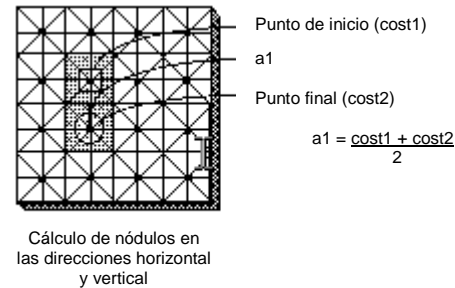
donde **cost1** es el costo de la celda 1; **cost2**, el costo de la celda 2; y **a1** la longitud del enlace que une la celda 1 con la celda 2.



El costo acumulativo está determinado por la siguiente fórmula:

$$\text{accum_cost} = a1 + (\text{cost2} + \text{cost3})/2$$

donde **cost2** es el costo de la celda 2; **cost3**, el costo de la celda 3; y **accum_cost** el costo acumulativo de pasar de la celda 3 a la celda 1.

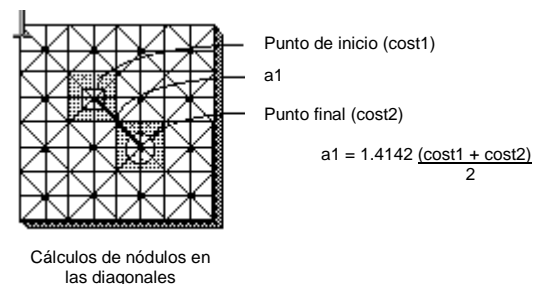


Si el movimiento es diagonal, el costo del viaje por el enlace es 1.414216 (o sea, raíz cuadrada de 2) multiplicado por el costo de la celda 1 más el costo de la celda 2, dividida esa suma por 2.

$$a1 = 1.414216 (\text{cost1} + \text{cost2})/2$$

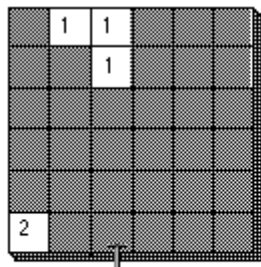
No obstante, cuando se determina el costo acumulativo de un movimiento diagonal, debe emplearse la siguiente fórmula:

$$\text{accum_cost} = a1 + 1.414216 (\text{cost2} + \text{cost3})/2$$

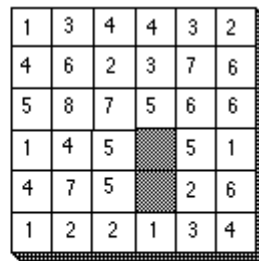


El algoritmo

La creación de una Cuadrícula acumulativa de costo-distancia empleando la teoría de las gráficas puede mirarse como un intento de identificar la celda de costo más bajo y de agregarla a una lista de resultados. Es un proceso repetitivo que empieza con las celdas de origen. La meta de cada celda debe asignarse rápidamente a la Cuadrícula de resultados de costo-distancia.



Cuadrícula de Resultados

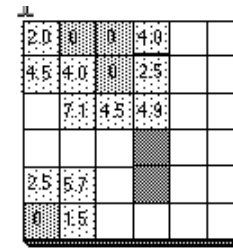


Cuadrícula de Costos

Valor de celdas blancas = 0
 Valor = Sin datos

En la primera repetición, las celdas de origen se identifican y se les asigna el valor cero ya que no hay ningún costo acumulativo si se regresa a ellas mismas. Enseguida se activan todas las celdas vecinas a las de origen y se asigna un costo a los enlaces entre los nodos de las celdas de origen y los nodos de las celdas del entorno, empleando las fórmulas de costo acumulativo antes descritas. Cada una de estas celdas vecinas puede ahora llegar a un origen y, en consecuencia, pueden ser elegidas (o asignadas) para la Cuadrícula de resultados de costo acumulativo. Para que una celda sea asignada a la Cuadrícula de resultados, debe tener la siguiente trayectoria de menor-costos hasta un origen.

Los valores de costo acumulativo se organizan en una lista que va desde el costo acumulativo más bajo hasta el más alto.



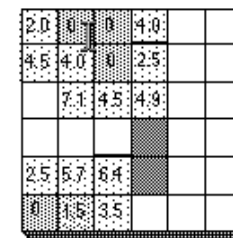
Cuadrícula de entrada

Lista de celdas de costo acumulativo vigentes						
1.5	2.0	2.5	4.0	4.0	4.5	4.5
4.9	5.7	7.1				

Valor = Sin datos
 Celdas de la lista de costo activo

Celda de origen
 Celdas asignadas a costo-distancia

La celda de costo más bajo es elegida a partir de la lista de costos vigente y el valor de la ubicación de la celda es asignado a la Cuadrícula de resultados de costo-distancia. La lista de las celdas vigentes se amplía ahora para incluir a las vecinas de la celda elegida, porque aquellas celdas (las vigentes) tienen ahora una forma de llegar a una celda de origen. Solamente las celdas que pueden llegar a una celda de origen pueden estar vigentes en la lista. El costo de ingresar en estas celdas se calcula mediante las fórmulas de costo acumulativo.



Cuadrícula de entrada

Lista de celdas de costo acumulativo vigentes						
1.5	2.0	2.5	4.0	4.0	4.5	4.5
4.9	5.7	7.1				

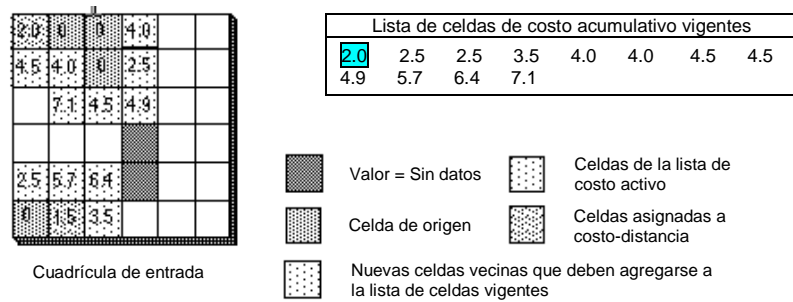
Valor = Sin datos
 Celdas de la lista de costo activo

Celda de origen
 Celdas asignadas a costo-distancia

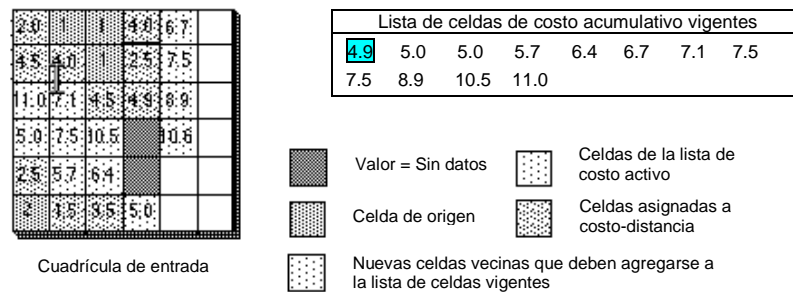
Nuevas celdas vecinas que deben agregarse a la lista de celdas vigentes

Como en casos anteriores, se elige la celda activa (vigente) de la lista que tenga el costo más bajo, se amplía el vecindario, se calculan los nuevos costos y estas nuevas celdas de costo se agregan a la lista que está activa o vigente.

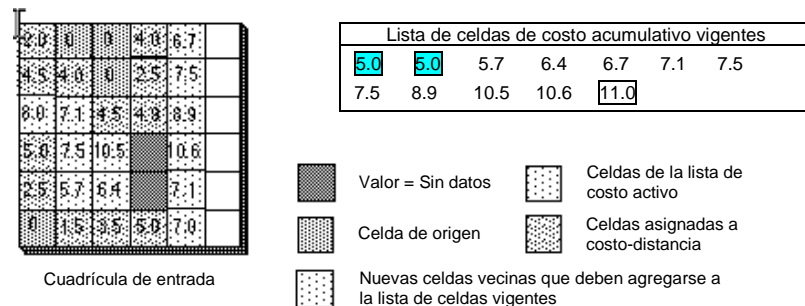
Las celdas de origen no tienen que estar conectadas. Todas las celdas de origen que no están conectadas contribuyen lo mismo que las conectadas a la lista vigente. Sólo se elige y se amplía la celda que tenga el costo acumulativo más bajo, sin tener en cuenta el origen al cual será asignada.



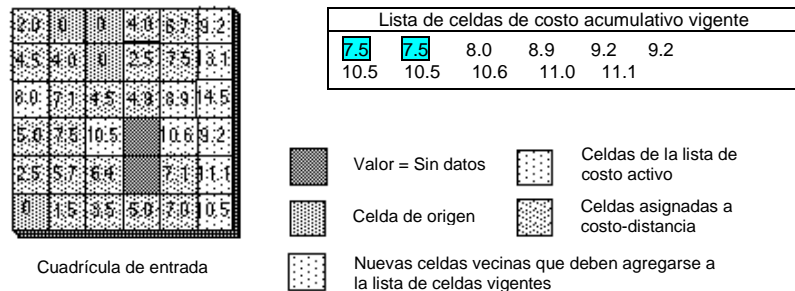
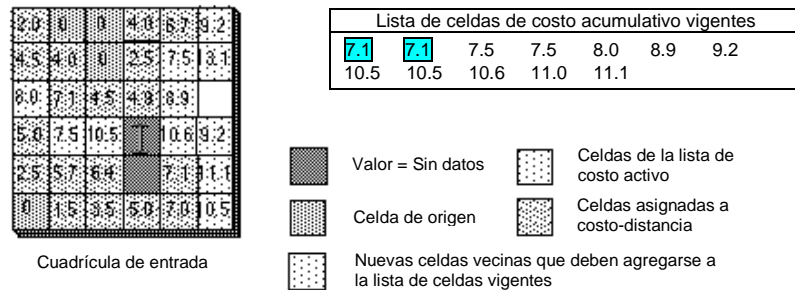
Además, las celdas de la lista vigente se actualizan si se genera una ruta nueva y más económica al generar nuevas ubicaciones de celdas a la cuadrícula de salida (resultados).



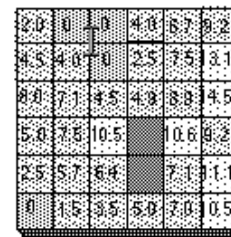
Esta actualización puede ocurrir cuando llegan nuevas trayectorias para las celdas de la lista vigente, lo que ocurre al asignar más celdas a la cuadrícula de salida (resultados). Cuando la celda que tiene el valor más bajo en la lista vigente de costo acumulativo se asigna a la cuadrícula de salida (resultados), se calculan todos los costos acumulativos. Estos costos se calculan también para las celdas contiguas a la celda de salida (con resultados) recién asignada, aunque dichas celdas estén en la lista vigente gracias a otra celda. Si el nuevo costo acumulativo obtenido para las posiciones de la lista vigente es mayor que el que tienen ordinariamente las celdas, ese valor se pasa por alto. Si el costo acumulativo es menor, entonces el costo acumulativo antiguo obtenido para la ubicación es reemplazado en la lista vigente por el nuevo valor. Esa celda, que ha señalado una trayectoria más económica y más aconsejable hacia una celda de origen, se traslada hacia arriba en la lista vigente elegida. En el ejemplo que sigue, la ubicación de la celda de la fila 3, columna 1 (resaltada junto al recuadro) tuvo un costo acumulativo de 11.0 cuando fue colocada en la lista vigente para alcanzar el origen en la parte superior de la cuadrícula. Ahora bien, dado que la celda de origen inferior se extendió a esta posición, la celda tuvo acceso a una trayectoria más barata de costo acumulativo para llegar a una celda de origen. El valor de la posición fue actualizado en la lista vigente y fue asignado con anterioridad a la salida (resultado) a causa de este costo acumulativo inferior.



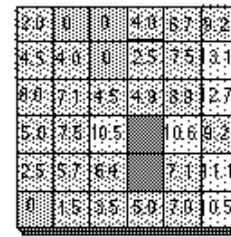
Si hay zonas múltiples o conjuntos desconectados de celdas de origen en la cuadrícula de entrada, el proceso de expansión continúa y asigna la celda de costo más económico de la lista vigente, independientemente del origen de donde proviene. Cuando se encuentran los frentes de expansión, sigue su curso la trayectoria de menor costo de regreso al origen hasta que todas las celdas elegibles hayan recibido un valor de costo.



Es concebible, que cuando se encuentren los modelos de expansión, las celdas de un patrón de expansión descubrirán que pueden llegar, con menor costo, a una celda de origen en otro conjunto o patrón de expansión. En ese caso, serán reasignadas al nuevo origen. Este comportamiento fue manifestado anteriormente por la celda de la fila 3, columna 1, aunque también se ejemplifica a continuación por la celda ubicada en la fila 3, columna 6.



Cuadrícula de entrada



Cuadrícula de entrada

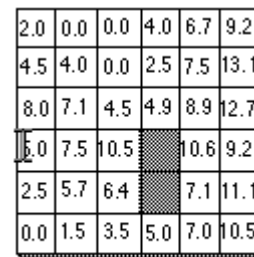
9.2	9.2	10.5	10.5	10.6	11.0	11.1	14.5
-----	-----	------	------	------	------	------	------

- Valor = Sin datos
- Celda de origen
- Nuevas celdas vecinas que deben agregarse a la lista de celdas vigentes
- Celdas de la lista de costo activo
- Celdas asignadas a costo-distancia

10.5	10.5	10.6	11.0	11.1	12.7
------	------	------	------	------	------

- Valor = Sin datos
- Celda de origen
- Nuevas celdas vecinas que deben agregarse a la lista de celdas vigentes
- Celdas de la lista de costo activo
- Celdas asignadas a costo-distancia

Cuando todas las celdas hayan sido elegidas de la lista vigente, el resultado es la cuadrícula de costo acumulativo o de distancia ponderada. El procedimiento empleado asegura que se garantice el costo acumulativo más bajo para cada celda.



Cuadrícula de resultados de costo-distancia

Conexión hacia atrás del costo

La cuadrícula de costo-distancia identifica el costo acumulativo para que cada celda regrese a la celda más cercana en el conjunto de celdas de origen. No muestra a qué celda de origen hay que regresar o cómo llegar hasta allí. La conexión hacia atrás del costo devuelve una cuadrícula con un rango de valor de 0 a 8 que puede utilizarse para reconstruir la trayectoria hacia el origen. Cada valor (0 a 8) identifica la celda vecina a donde hay que trasladarse para regresar al origen. 0 es un origen, 1 indica el traslado a la posición derecha más cercana; 2, traslado a la diagonal inferior derecha; 3, traslado a la celda inmediatamente al sur, etc.

6	7	8
5	0	1
4	3	2

Posiciones de conexión hacia atrás (retro-enlace)

Si a la celda se le asigna 5 como parte de la trayectoria de menor costo hacia un origen, la trayectoria debe trasladarse a la celda vecina de la izquierda. Si esa celda tiene el valor 7, la trayectoria debe moverse hacia el norte.

1	0	0	5	4	5
7	1	0	5	5	6
3	8	7	6	6	3
3	5	7		3	4
3	4	4		4	5
0	5	5	5	5	5

Cuadrícula de resultados de retro-enlace

Asignación de costos

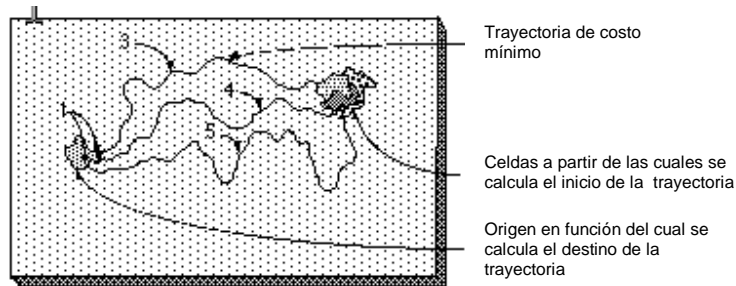
La asignación de costos genera una cuadrícula muy similar a la función de asignación euclídeana; al igual que esta función, dicha asignación devuelve una cuadrícula que identifica las celdas que serán asignadas a determinado origen, pero lo hace, a diferencia de la función euclídeana, sobre la base del costo acumulativo más bajo que permite llegar a un origen.

1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	2
2	2	1		2	2
2	2	2		2	2
2	2	2	2	2	2

Cuadrícula de resultados de la asignación de costos

Trayectoria del costo

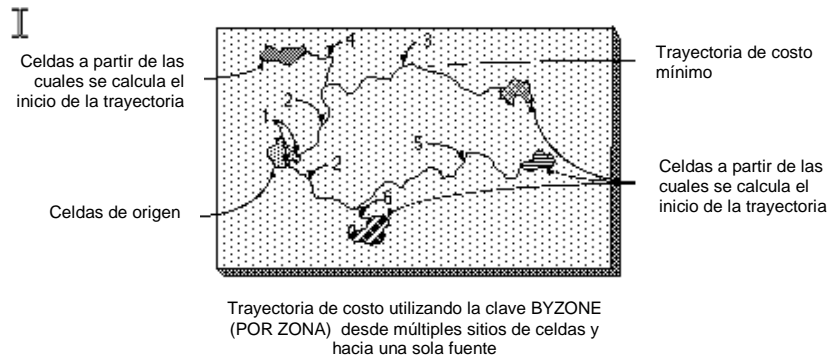
Cuando se han generado las cuadrículas de costo acumulativo y de conexión hacia atrás, pueden derivarse las rutas de trayectoria de mínimo costo a partir de cualquier celda o zona (o zonas) de destino designadas. La solicitud de costo-trayectoria recorre de nuevo las celdas de destino a través de la cuadrícula de retroconexión hasta un origen. Si hay multiplicidad de celdas o zonas como destinos de entrada, puede calcularse la trayectoria de mínimo costo desde cada celda —lo que resulta en trayectorias múltiples, o sea una trayectoria para cada celda— o desde cada zona, lo que crea una trayectoria desde cada zona.



Trayectoria del costo utilizando la clave BYZONE (POR ZONA)

origen. El valor 0 es considerado un origen legítimo. La ubicación de las celdas cuyo valor es *Ningún dato* en la cuadrícula de costo actúa como barrera en las funciones de superficie de costo. Cualquier ubicación de celda a la que se asigne el valor *Ningún dato* en la entrada de la superficie de costo recibirá el valor *Ningún dato* en las tres cuadrículas de salida de la solicitud **aGrid.CostDistance**. Si se ha establecido una máscara en el ambiente de análisis, todas las celdas enmascaradas serán consideradas como poseedores del valor *Ningún dato*.

Cuando dos o más trayectorias de costo de diferentes zonas convergen en la ruta hacia un origen y hacen la distancia restante juntas, a la trayectoria conjunta que llega a la celda se le asigna el valor 2, ya que no puede determinarse al dueño del segmento. El valor asignado a cada trayectoria se asigna según el orden en que se encuentren las celdas de la zona en el proceso de exploración.



El conjunto de celdas de origen consta de todas las celdas de la cuadrícula de origen que tienen valores válidos. Las celdas que tienen el valor *Ningún dato* no están incluidas en el conjunto de