

LA CUENCA VISUAL EN EL ANÁLISIS DEL PAISAJE

Gonzalo Tévar Sanz¹

1. INTRODUCCIÓN

"Pero acaso sea preferible y, con seguridad, menos comprometido, admitir paladinamente la polivalencia y equivocidad de la palabra paisaje, y tomarla unas veces como término estético, otras -en nuestro caso- como ecológico o geográfico, según convenga a la expresión(...) En todo ello encontramos no obstante un sustrato común, formado por un espacio, porción de terreno, *situs*, y una determinada percepción de ese territorio. En otras palabras, hay una realidad espacial que se percibe bajo un cierto prisma, una fuente de información más o menos directamente asimilable que se recoge también en mayor o menor medida. Pero a estos dos sumandos, configuradores del paisaje, habría que añadir un tercero que ha quedado implícito: el sujeto de la percepción, el hombre" (Ramos y Aguiló, 1988). En las palabras citadas se hace presente la riqueza de contenidos que encierra el término "paisaje", riqueza que corre paralela a su importancia, en relación con el hombre, de la que otros autores también se han ocupado.

A la hora de empezar a penetrar en el estudio del paisaje, parece necesario establecer una pauta que transporte y guíe sin desviarse del objeto de estudio. Son muchas las maneras posibles de hacerlo, ligadas al contenido que quiera darse al concepto. En sus extremos,

podrían distinguirse dos: una, la más abarcante, que identificaría al paisaje con el medio biofísico en su totalidad -*Paisaje total*-; y otra que ciñe el contenido a los aspectos visuales -*Paisaje visual*-, cuya consideración corresponde más al enfoque de la estética o de la percepción (Aguiló et al, 1993).

El análisis del *Paisaje visual* puede emprenderse, pues, siguiendo dos líneas: una de ellas se dirige hacia los componentes físicos y bióticos del medio, directamente perceptibles en una línea llamémosle objetiva, que ha sido ampliamente desarrollada por la Unidad Docente de Planificación y Proyectos de la Escuela de Ingenieros de Montes de Madrid (Aguiló et al, 1993); la otra tiene su base en el estudio de las respuestas perceptuales de los observadores, tratando de elaborar patrones de respuestas acordes. Esta segunda adopta una línea más subjetiva en su inicio y ha sido muy trabajada por el equipo del Profesor González Bernáldez en el Departamento de Ecología de las Universidades Autónoma y Complutense de Madrid (Gonzalez Bernaldez, 1981).

El estudio de la cuenca visual y los índices que de ella se derivan constituyen una parte importante del conjunto de herramientas necesarias para el análisis del Paisaje Visual. **La cuenca visual** es el conjunto de superficies o zonas que son vistas desde un punto de observación, o dicho de otra manera, es el

1. E.T.S. de Ingenieros de Montes. Paseo de las Moreras, s/n. 28040 Madrid

entorno visual de un punto (Fdez-Cañadas, 1977). La cuenca visual común de los puntos que pertenecen a una zona es la intersección del conjunto de las cuencas visuales correspondientes a dichos puntos; esto es, el subconjunto de puntos que son vistos desde todos los puntos de la zona.

La cuenca visual conjunta de los puntos que pertenecen a una zona, es la unión del conjunto de cuencas visuales de cada uno de ellos; es decir, el total de los puntos que pueden ser vistos por alguno de los puntos de la zona. Por ejemplo, en el diseño de una carretera, habrá que calcular las cuencas visuales conjuntas de varios trazados, si se quiere determinar cual es el menos visto posible. También es necesario calcularla cuando se quiere efectuar una actuación en el terreno que ocupe suficiente extensión, sea un mirador en cuyo caso interesará que la cuenca visual conjunta sea lo mas grande posible, o una actividad industrial, donde, por el contrario, se buscará un lugar con la menor cuenca visual conjunta.

2. METODOS DE CALCULO DE LA CUENCA VISUAL.

Aunque en determinados estudios del paisaje, para identificar que ámbito tiene mayor cuenca visual, basta comparar las fotografías tomadas desde cada punto, el procedimiento mas ajustado para determinar con mayor precisión la cuenca visual se basa en el uso de un Modelo Digital del Terreno (MDT o DTM, Digital Terrain Model), y su correspondiente cálculo automático.

Todos los procedimientos existentes hasta ahora para el cálculo de la cuenca visual se parecen en que su fundamento es el mismo: determinar si un conjunto de puntos del

territorio, se ven o no, desde un determinado observatorio. Sin embargo, difieren, por una parte en cuanto al cálculo de la visibilidad entre dos puntos y, por otra, en cuanto a la forma de elegir los puntos que serán representativos y el área asignada a cada uno de ellos.

El terreno en la realidad es una superficie continua que, a la hora de su tratamiento en forma numérica, hay que convertirla en una superficie poliédrica. Para ello, al terreno se le superpone una red o **malla** que puede estar compuesta por cuadrados, triángulos, o hexágonos y se registran las cotas de sus vértices. El caso más corriente es utilizar superficies cuadradas, a las que suele darse la denominación de **cuadrículas, celdas o teselas**.

Conviene ahora precisar algunos conceptos básicos que van a ser manejados en este trabajo:

La visual, rayo visual o simplemente rayo, es la recta imaginaria que partiendo desde el punto de observación conecta con otro punto destino, del cual se quiere saber si es visible o no.

La pendiente virtual o pendiente visual se define como la tangente del ángulo formado por el **rayo visual** con la horizontal, y se calcula con la diferencia de cotas entre el punto de observación y el punto destino dividida por la distancia medida en el plano horizontal. Para determinar si un punto es visto por otro es preciso calcular las pendientes visuales de los puntos intermedios, localizados en la visual que conecta el punto de observación con el punto destino objeto de cálculo.

2.1. METODOS MANUALES. METODOS SEMIAUTOMATICOS.

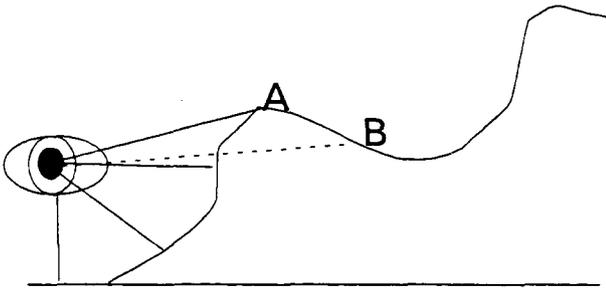


Figura 1

Si la pendiente visual del punto (A) destino es mayor que todas las pendientes de los puntos intermedios, entonces podrá decirse que ese punto es visto y que existe entre los dos puntos una relación de **intervisibilidad**. Por lo contrario el punto (B) no será visto.

El **alcance** o distancia máxima en una dirección de las observaciones vendrá dado por la finalidad del estudio pudiendo ser variable en una misma cuenca en función de la dirección.

La **altura del observador** habría que sumarla a la altura del punto de observación para efectuar los cálculos de la pendiente virtual.

La **convexidad** de la proyección en planta de la zona de cálculo ha de tomarse en consideración para no falsear los datos obtenidos en el cálculo de la cuenca visual. Si para determinar su intervisibilidad unimos dos puntos cualesquiera por un rayo visual, éste deberá transcurrir en todo su recorrido por cuadrículas de la zona de cálculo. Esto se consigue siempre que la zona tenga una forma convexa (fig. 2).

Si la zona no fuese convexa, al pasar una visual por una zona "en blanco" (sin territorio), se interpretaría que en los puntos donde no tuviera datos las cotas serían cero, y no se interpondrían en la visual que los atravesara.

Los métodos manuales pueden calificarse de analógicos tanto en su proceso de obtención como en sus resultados. Por el contrario, los métodos automáticos utilizan el cálculo numérico y necesitan un Modelo Digital del Terreno, aunque pueden mostrar sus resultados indistintamente de forma analógica y digital. Los métodos semiautomáticos no precisan de un MDT y también pueden mostrar sus resultados tanto de forma analógica como digital. A continuación se exponen algunas características de métodos manuales y semiautomáticos.

- Métodos manuales.

En el método de Observación directa (Litton, 1973) el observador se traslada al punto cuya cuenca visual se quiere determinar con un mapa de la zona al que irá transfiriendo los límites visuales de su observación.

Un método también manual, algo más rápido, fue desarrollado por Hebblethwaite (Clark, 1976) para el cálculo de la cuenca visual en el estudio del impacto ambiental de centrales de energía. A diferencia del anterior este se realiza sobre el mapa topográfico con la utilización de unas plantillas transparentes.

El método clásico de obtener la cuenca visual, consiste en trazar perfiles del terreno cada cierto ángulo, determinando en ellos los puntos vistos y no vistos. Una vez unidos éstos puntos entre rayos consecutivos se obtienen zonas vistas y zonas de sombra, obteniendo, de esta manera, la cuenca visual.

- Métodos semiautomáticos.

Aunque en los métodos descritos a continuación el componente mayoritario del estudio se efectúa en el gabinete, no significa

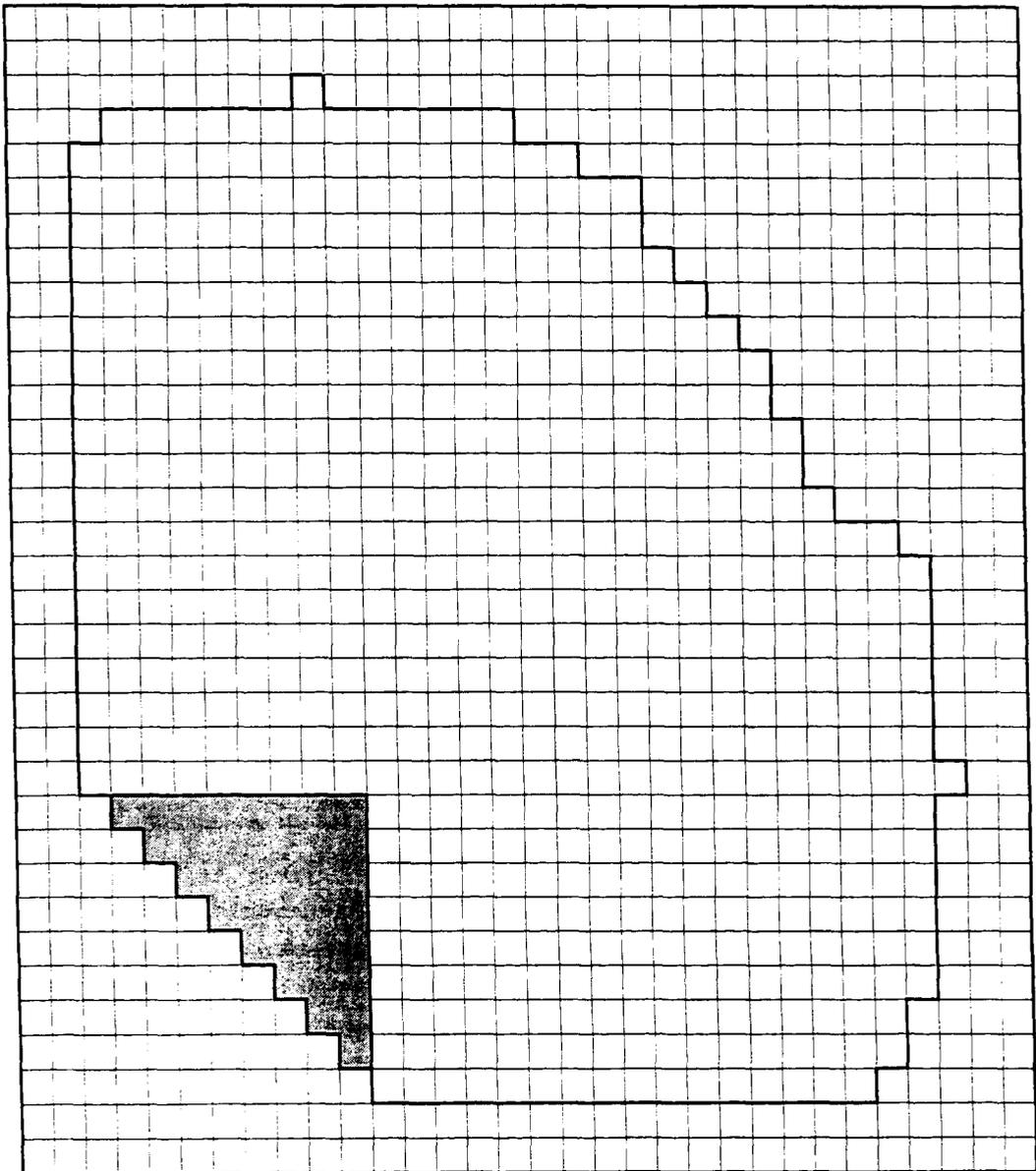


Figura 2

La zona sombreada se añade para que la zona de cálculo sea convexa.

que se suprime el reconocimiento de campo. La observación en el campo permite eliminar los errores que puedan surgir al existir objetos cercanos al punto de observación no reflejados en los mapas topográficos utilizados. Estos procedimientos tratan de utilizar la sencillez de cálculo de los métodos manuales, aprovechando la rapidez del cálculo automático.

Estos métodos no se han desarrollado mucho dada la prontitud con que se han instalado los ordenadores en el entorno de trabajo. Este cambio en la forma de trabajo ha originado un vacío intermedio que ahora se pretende rellenar. Dicho de otra manera se ha pasado de los métodos manuales a los automáticos en un efecto de péndulo que deja en el intermedio multitud de líneas sin desarrollar.

Para el cálculo automático sólo es necesario un MDT, una aplicación informática y un ordenador. El operador, que con cierta seguridad no ha generado ese modelo -se puede adquirir en cualquier casa especializada-, pierde en cierta medida la noción de la realidad del terreno.

En estos métodos se trata de acercar el terreno a través de un **mapa topográfico**; el cual en cierta forma va perdiendo "terreno" frente a los modelos digitales.

Se propone un método semiautomático (Tévar, 1995) que podría ser el que sigue a continuación:

- Se introduce en el ordenador la equidistancia de las curvas de nivel.

- Se elige el punto de observación y se calcula su cota por cualquier método de interpolación. Por ejemplo trazando una recta que contenga al punto y además corte a dos curvas de nivel.

- Se coloca una regla sobre el plano topográfico que pasando por el

punto de observación señale la dirección de la visual.

- Con un lápiz magnético o dispositivo señalador de una tableta digitalizadora se señala el punto de observación.

- Se señalan los puntos de corte de la regla con las curvas de nivel, haciendo notar si al pasar de una curva a otra, aumenta, disminuye o sigue la misma cota. Esto último se puede hacer o bien introduciendo el signo "+", "-", o "=" a través del teclado antes de señalar el punto de corte con el lápiz, o bien utilizando tres botones distintos del señalador.

- A medida que se introducen los puntos, la aplicación informática va trazando los perfiles y ejecutando los mismos pasos que en el proceso manual.

- La aplicación guarda en cada rayo los puntos vistos y no vistos y, posteriormente, se muestra mediante un trazador en una transparencia. La unión de estos puntos se puede hacer de forma manual.

Son evidentes las ventajas que se manifiestan frente al método manual. Sin embargo son tantas ante un proceso totalmente automático; se pueden señalar fundamentalmente cuatro.

- a) Se obliga a estudiar el terreno con lo que se detectan los posibles errores.

- b) No es necesario disponer del Modelo Digital del Terreno; esto abarata considerablemente el estudio.

- c) El tiempo de cálculo es sensiblemente menor que en cualquier método, aunque no el de preparación.

- d) El número de interpolaciones es sensiblemente menor al no utilizar cuadrículas, con lo que se evitan también los posibles errores

que se producen.

2.2. METODOS AUTOMATICOS DE CALCULO DE LA CUENCA VISUAL

Los métodos automáticos aparecieron a mediados de la década de los setenta cuando los ordenadores fueron lo suficientemente potentes y asequibles para procesar una gran cantidad de información. El proceso de establecimiento de los distintos métodos es paralelo al desarrollo de la tecnología informática intentando cada uno de ellos mejorar a los anteriores básicamente aumentando la precisión y/o disminuyendo el tiempo de cálculo.

Método de Steinitz (Steinitz, 1974)

Se ideó un procedimiento que dividía el área de estudio correspondiente al punto de observación en ocho octantes; cada uno de ellos podía ser barrido por un número distinto de rayos, así como con un alcance diferente. De esta forma se intenta optimizar el tiempo de cálculo adecuándolo a las dificultades del terreno.

Método de los rayos o de las secciones variables (Aguiló, 1981)

El cálculo de la cuenca visual por rayos está basado en la asignación a los puntos observados de áreas en forma de sectores de corona, cuya amplitud es creciente según la distancia al punto de observación. El procedimiento de cálculo se organiza de la forma siguiente:

- Por medio de visuales que parten del origen o punto de observación se recorre todo el área de estudio.
- Los rayos se distribuyen separados con un cierto *ángulo* que se fija previamente.

- Las observaciones en cada rayo se distancian una longitud denominada *paso*.

- El área asignada a cada punto observado es la formada por dos arcos de longitud $P*(d_i - p*0.5)$ y $P*(d_i + p*0.5)$, separados por una distancia igual al paso, en donde "p" es el paso y d_i es la distancia existente entre el punto de observación y el observado.

Si se ve el punto central de la corona se atribuye el total del área asignada, independientemente de que se vea o no toda ella. Por el contrario, no se asigna superficie alguna si no se ve su punto central.

La precisión en el resultado de las zonas vistas, disminuye inversamente con la distancia, ya que a medida que aumenta la distancia lo hace también el área asignada al punto observado. Esta pérdida se corresponde en la realidad con la pérdida de precisión por razones fisiológicas o de nitidez. El problema estriba en la definición del paso y del ángulo que es distinto en función de la zona de estudio y del alcance que se quiera estudiar.

Método general o de las cuadrículas

En este método las superficies asignadas a cada punto observado son constantes independientemente de la distancia. El "test" de visibilidad se aplica a cada una de las cuadrículas que se encuentren en el interior del círculo cuyo radio viene determinado por el alcance.

Método de integración (Tévar, 1995)

Este método trata de integrar los métodos anteriores, utilizando sus ventajas e intentando solucionar sus problemas. En síntesis, el método consiste en trazar rayos visuales al igual que se

hace en el método de los rayos, pero con la diferencia en este caso de que tanto el *ángulo* de separación entre los rayos visuales como el *paso* para cada rayo, son variables y no se definen "a priori" (fig. 3).

Al igual que en el método de las cuadrículas, y al contrario que en el de los rayos, en este método se asignan a los puntos rastreados cuadrículas que son superficies de área constante. El perímetro que se considera en este método está constituido por cuadrículas contiguas situadas al alcance considerado. Dos cuadrículas vecinas deben tener un lado en común.

Los rayos visuales se trazan desde el punto de observación hasta las cuadrículas del perímetro correspondiente al alcance. En el caso de que estas estuvieran fuera de la zona de cálculo, cada rayo se detendría en el perímetro de dicha zona. El *paso* es constante para cada rayo y distinto entre ellos.

Cuando la pendiente del rayo visual sea inferior o igual a los 45° los rayos cortarían a todas las cuadrículas por sus lados verticales. Cuando la pendiente este comprendida entre 45° y 90° los rayos cortarían a todas las cuadrículas por sus lados horizontales.

Esta circunstancia en la intersección con las cuadrículas es la que determina el *paso* en cada uno de los dos casos. El *paso* no está, pues, definido "a priori", y tampoco es necesario hacerlo. Para el caso de que el ángulo formado por el rayo con la horizontal sea menor de 45° , el *paso* coincide con la secante de dicho ángulo, en caso de ser mayor de 45° sería igual a la cosecante.

Se puede pensar en dividir el círculo delimitado por el alcance en ocho sectores, cada uno de los cuales tendrá un tratamiento automático distinto, posibilitando así el

aprovechar la idea de Steinitz y definir ocho alcances máximos, uno por cada sector.

Mientras que en los otros métodos, la superficie asignada a un punto se considera perteneciente a la cuenca visual cuando es visto el punto, en este método no sucede así, y se sigue un criterio distinto partiendo de una convención: cuando a un punto de una cuadrícula se le somete al test de visibilidad se dice que es observado y cuando lo supera se dice que es un punto visto.

- Test de visibilidad en cada rayo.

El análisis de los puntos de corte a lo largo de una visual se hace de forma centrífuga. Se calcula la *pendiente visual* entre cada punto y el punto de observación. Los puntos vecinos con el punto de observación serán siempre visibles al no existir ningún obstáculo entre el punto de observación y éstos. Analizando uno de estos puntos vecinos en su rayo, se calcula su *pendiente visual* y se almacena como *pendiente visual máxima*; se calcula la *pendiente visual* del siguiente punto en el rayo y si esta es mayor que la que se ha fijado como *pendiente visual máxima*, el punto se considera visto y esta última pendiente pasa a ser la *pendiente visual máxima*. El proceso se repite con todos los puntos hasta el punto situado en el alcance fijado.

Una cuadrícula está atravesada por varios rayos y, por lo tanto, es observada varias veces, tantas como rayos corten sus lados. Puede suceder por ejemplo, que de todas las veces observadas solamente una vez sea visto un punto de corte. Si se sigue el criterio de dar por vista una cuadrícula cuando lo es un punto de corte de sus lados, se da lugar a cuencas visuales más grandes, en especial en las zonas de relieve más accidentado. Se entiende que esto es un inconveniente de entidad, que debe superarse en lo posible. Para ello, a cada cuadrícula se le

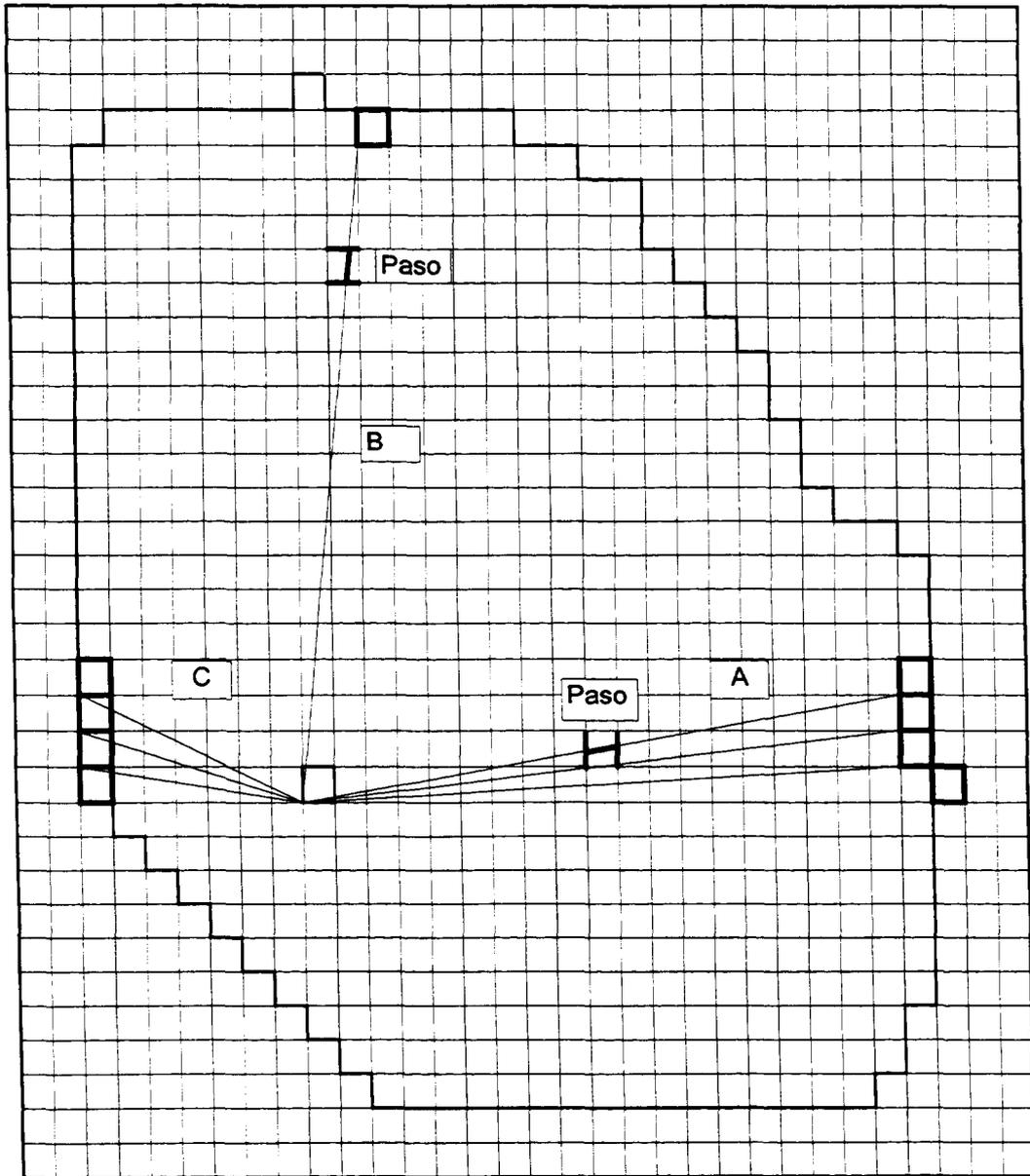


Figura 3

Método de Integración. Determinación del *paso* en función del ángulo que forme el rayo visual.

asigna un índice V igual a:

$$V = \frac{N^{\circ} \text{ de veces vista}}{N^{\circ} \text{ de veces observada}}$$

Se dan entonces como vistas las cuadrículas cuyo índice $V > 0,5$, o también se podrían clasificar las cuadrículas según los valores de dicho índice. En el primer caso, se incluye toda la cuadrícula dada por vista en la representación gráfica de la cuenca visual. En el segundo caso, se ganaría en precisión, pero la representación de este es menos clara.

En el método de los rayos a un punto se le puede asignar mayor o menor superficie dependiendo del *ángulo* y el *paso* que se hayan elegido.

En el método de integración, en cambio, se asigna una superficie de área constante al conjunto de puntos de corte, con lo cual se aumenta la precisión en el cálculo de la cuenca visual. También se da la mejora de simplificar las interpolaciones.

Para ver con más claridad cómo se efectúa el proceso descrito anteriormente, a continuación se muestra el orden con el que se van rastreando las cuadrículas y el cálculo de los distintos valores necesarios para la determinación de la cuenca visual (tabla 1). La descripción se limita a tres rayos consecutivos pertenecientes al primer cuadrante.

Las cuadrículas tienen cien metros de lado. El primer rayo forma un ángulo con el eje de las "X" menor de 45° , el segundo igual a 45° y el tercero mayor de 45° . Se han elegido estos tres rayos por corresponder con las tres posibles situaciones de corte con las cuadrículas. Cada una de estas situaciones plantea un cálculo distinto que se muestra más adelante. Se eligió un alcance de dos kilómetros, equivalente a veinte cuadrículas. El punto de observación es el vértice (86,67) y se escogió de tal forma que para el alcance considerado, una parte del perímetro de observación viniera definido por el perímetro de la zona de cálculo. Esto significa que no en todas las direcciones se podrá llegar al alcance de veinte cuadrículas.

Se muestran en una primera fila las coordenadas del punto final, en las siguientes filas se repiten los coeficientes de la ecuación de la recta correspondiente al rayo visual (tabla 1). Además se muestran los puntos de corte, la interpolación de la cota y la pendiente visual que forman con el punto de observación, así como la pendiente visual máxima hasta ese momento.

CU	XMAX	YMAX	PEND	T IND	XCORTE	YCORTE	X1	X2	X3	Y1	Y2	Y3	Z1	Z2	Z3	PVMAXIMA	PVISUAL	VISTO
1	72	80																
			0,93	147	85,00	67,93				67	68	0,93	1840	1815	1817	-9999,00	-38,21	Si
			0,93	147	84,00	68,86				68	69	0,86	1775	1760	1762	-38,21	-41,53	No
			0,93	147	83,00	69,79				69	70	0,79	1715	1710	1711	-38,21	-39,92	No
			0,93	147	82,00	70,71				70	71	0,71	1670	1660	1663	-38,21	-38,43	No
			0,93	147	81,00	71,64				71	72	0,64	1630	1635	1633	-38,21	-34,64	Si
			0,93	147	80,00	72,57				72	73	0,57	1585	1585	1585	-34,64	-34,57	Si
			0,93	147	79,00	73,50				73	74	0,50	1585	1620	1603	-34,57	-27,39	Si
			0,93	147	78,00	74,43				74	75	0,43	1645	1685	1662	-27,39	-18,14	Si
			0,93	147	77,00	75,36				75	76	0,36	1695	1720	1704	-18,14	-12,55	Si
			0,93	147	76,00	76,29				76	77	0,29	1720	1750	1729	-12,55	-9,40	Si
			0,93	147	75,00	77,21				77	78	0,21	1755	1790	1763	-9,40	-6,22	Si
			0,93	147	74,00	78,14				78	79	0,14	1805	1845	1811	-6,22	-2,72	Si
			0,93	147	73,00	79,07				79	80	0,07	1850	1890	1853	-2,72	-0,12	Si
			0,93	147	72,00	80,00							1930			-0,12	3,93	Si
1	72	81																
			1,00	153	85,00	68,00							1815			-9999,00	-28,28	Si
			1,00	153	84,00	69,00							1760			-28,28	-33,59	No
			1,00	153	83,00	70,00							1710			-28,28	-34,18	No
			1,00	153	82,00	71,00							1660			-28,28	-34,47	No
			1,00	153	81,00	72,00							1635			-28,28	-31,11	No
			1,00	153	80,00	73,00							1585			-28,28	-31,82	No
			1,00	153	79,00	74,00							1620			-28,28	-23,74	Si
			1,00	153	78,00	75,00							1685			-23,74	-15,03	Si
			1,00	153	77,00	76,00							1720			-15,03	-10,61	Si
			1,00	153	76,00	77,00							1750			-10,61	-7,42	Si
			1,00	153	75,00	78,00							1790			-7,42	-4,18	Si
			1,00	153	74,00	79,00							1845			-4,18	-0,59	Si
			1,00	153	73,00	80,00							1890			-0,59	1,90	Si
			1,00	153	72,00	81,00							1945			1,90	4,55	Si
1	73	81																
			1,08	160	85,07	68,00	85	86	0,07				1815	1845	1817	-9999,00	-27,74	Si
			1,08	160	84,14	69,00	84	85	0,14				1760	1805	1766	-27,74	-32,45	No
			1,08	160	83,21	70,00	83	84	0,21				1710	1750	1719	-27,74	-33,32	No
			1,08	160	82,29	71,00	82	83	0,29				1660	1700	1671	-27,74	-33,63	No
			1,08	160	81,36	72,00	81	82	0,36				1635	1660	1644	-27,74	-30,93	No
			1,08	160	80,43	73,00	80	81	0,43				1585	1620	1600	-27,74	-31,14	No
			1,08	160	79,50	74,00	79	80	0,50				1620	1585	1603	-27,74	-26,43	Si
			1,08	160	78,57	75,00	78	79	0,57				1685	1645	1662	-26,43	-17,67	Si
			1,08	160	77,64	76,00	77	78	0,64				1720	1710	1714	-17,67	-11,52	Si
			1,08	160	76,71	77,00	76	77	0,71				1750	1750	1750	-11,52	-7,69	Si
			1,08	160	75,79	78,00	75	76	0,79				1790	1790	1790	-7,69	-4,33	Si
			1,08	160	74,86	79,00	74	75	0,86				1845	1825	1828	-4,33	-1,66	Si
			1,08	160	73,93	80,00	73	74	0,93				1890	1895	1895	-1,66	2,23	Si
			1,08	160	73,00	81,00							1935			2,23	4,19	Si
Cu	Cuadrante																	
Xmax	X del punto final del rayo visual																	
Ymax	Y del punto final del rayo visual																	
Pend	Pendiente con el eje de las X de la ecuación de la recta del rayo visual																	
T.Ind	Termino independiente X de la ecuación de la recta del rayo visual																	
Xcorte	X del punto de corte																	
Ycorte	Y del puntode corte																	
X1	X de un extremo del segmento de corte																	
X2	X del otro extremo del segmento de corte																	
X3	Diferencia entre X_corte y X1																	
Y1	Y de un extremo del segmento de corte																	
Y2	Y del otro extremo del segmento de corte																	
Y3	Diferencia entre Y_corte e Y1																	
Z1	Z de un extremo del segmento de corte																	
Z2	Z del otro extremo del segmento de corte																	
Z3	Cota del punto de corte obtenida por interpolación																	
Pvmax	Pendiente virtual maxima																	
Pvisual	Pendiente virtual de la rayo																	
Visto	Resultado de la comparación Pvirtual>=Pvmaxima																	

Tabla 1

- Primer rayo.

Une el punto de observación (86,67) con el punto final (72,80). Se observa, que la variable "Xcorte" toma valores enteros, mientras "Ycorte" no lo hace, como ocurre siempre que el rayo corta por los lados verticales de las cuadrículas. La interpolación de la cota se hace con los vértices de las dos cuadrículas situados en los extremos del segmento vertical de corte. Estos vértices corresponden a los valores tomados por (Xcorte,Y1,Z1) y (Xcorte,Y2,Z2). El valor de la interpolación para la cota es:

$$Y3 = YCORTE - Y1$$

$$Z3 = Z1 + (Z2 - Z1) * Y3$$

La pendiente visual es igual a:

$$D = \sqrt{(XCORTE - X_0)^2 + (YCORTE - Y_0)^2}$$

$$PVISUAL = \frac{(Z3 - Z_0)}{D}$$

Siendo X_0, Y_0, Z_0 las coordenadas del punto de observación.

- Segundo rayo.

El punto final es el (72,81). En este caso la pendiente del rayo con el eje de las "X" es igual a 1. Los puntos de corte con las cuadrículas son los propios vértices, por lo que no es preciso la interpolación y la pendiente visual es igual a:

$$PVISUAL = \frac{(Z1 - Z_0)}{D}$$

En este caso singular el rayo forma un ángulo de 45 ° con la horizontal, el valor de la secante es igual que el de la cosecante e igual a $\sqrt{2}$ y el *paso* coincide con la diagonal de la

cuadrícula. Cada punto de corte, por coincidir con un vértice afectará en el test de visibilidad a las cuatro cuadrículas de las que forma parte.

- Tercer rayo.

El punto final es el (73,81). La pendiente del rayo es mayor que uno, el rayo corta por lados horizontales de las cuadrículas. La variable "YCORTE" es ahora la que toma valores enteros. Los vértices que se utilizan en este caso son los de coordenadas (X1,Ycorte,Z1) y (X2,Ycorte,Z2) y la forma de interpolar es la siguiente:

$$X3 = Xcorte - x1$$

$$Z3 = Z1 + (Z2 - Z1) * X3$$

La pendiente visual se calcula con la misma fórmula que en el primer rayo.

3. INDICES PARA LA CARACTERIZACION, ANALISIS E INTERPRETACION DE LA CUENCA VISUAL

Aunque la mejor manera de interpretar la cuenca visual de un punto sea a través de su representación en un plano topográfico, es necesario recurrir al uso de índices que definan algunas de sus características y, de esta forma, se pueden establecer comparaciones con otras cuencas visuales. Veamos a continuación los mas significativos.

Se propone estudiar, básicamente, las características referidas a la topografía ; es decir, a la superficie física del terreno donde se asienta la vegetación y los otros tipos de cubiertas biofísicas y ocupaciones. Estas características pueden ser la distribución en el espacio o en el plano de las superficies vistas y de las ocultas, el perímetro de la cuenca visual, el número y

distribución de los "agujeros", etc.

Cuenca visual absoluta

Este índice mide la superficie total vista desde un punto de observación, sin tener en cuenta ni su forma ni su distribución. Cuando la cuenca visual es conjunta y se obtiene como observación desde distintos puntos del territorio, puede ser necesario ponderar las distintas aportaciones según el número de observadores en cada punto al conjunto de la cuenca visual. Un paso más en la apreciación de la cuenca visual, es considerar el tiempo medio de observación.

Pendiente visual media (Tévar, 1995)

Se propone para medir la sensación de dominancia del observador; coincide con la media de las pendientes visuales ponderadas con la superficie. Valores negativos indicarían que el observador se encuentra en una posición dominante.

Compacidad

Se trata, en este caso, de evaluar los huecos o zonas no vistas dentro del perímetro de la cuenca visual. Se propone utilizar, el número de huecos, la media de la superficie y la desviación típica que dan una idea de la distribución de los tamaños de los huecos medidos en planta. Es interesante también la medición del volumen de los huecos, o lo que es lo mismo, para cada cuadrícula no vista su **altura de ocultación potencial** (Higuchi, 1988). La media de las alturas de ocultación potenciales se utilizará sobre todo en estudios de fragilidad del paisaje .

Para medir la disposición de los huecos en la cuenca visual se propone utilizar la distancia media entre los centros de gravedad de los huecos.

Puntos singulares (Tévar, 1995)

Se definen como puntos singulares aquellos que, por sus particulares características visuales, se pueden distinguir del resto de puntos del territorio.

Punto o zona sobresaliente, es una superficie que se encuentra rodeada en su vecindad de zonas ocultas por la topografía del terreno. Por el contrario, punto o zona escondida será una zona no visible que se encuentra rodeada por otros puntos que sí son visibles.

Se toma como punto sobresaliente aquel que, siendo visible, está rodeado, al menos, por un 70 por ciento de puntos que no lo son.

Una zona sobresaliente se define como aquella que está formada por un conjunto de puntos, vecinos y visibles, rodeados en su totalidad por puntos no visibles.

El número de puntos y de zonas tanto sobresalientes como escondidas es un indicador de la complejidad de la cuenca visual, y también es un índice de la fragilidad del paisaje. Para hacerse una idea de su incidencia en el conjunto territorial, sería más conveniente referir, tanto el número de puntos sobresalientes como el de puntos escondidos, al total de la cuenca visual, expresándolo en tanto por ciento.

Índice de circularidad

El índice de circularidad (Miller, 1953) es el cociente entre el área de la cuenca y el área de un círculo cuyo perímetro fuese el de la cuenca. Es, pues, una medida de la redondez de

la cuenca, ya que el círculo es la superficie geométrica que tiene mayor área para un perímetro dado.

$$R = A/\pi*(P/(2*\pi))^2 = A*4*\pi/P^2$$

Por una parte, al utilizar como referencia el área del círculo, y por otra, cuando se trabaja con celdas cuadradas, se produce una desviación que enmascara el propósito de este índice.

Una solución sería sumar las distancias entre los centros de dichas cuadrículas o entre un determinado vértice de cada una de ellas.

Otra puede residir en la introducción de un coeficiente K que corrija el efecto escalera y que mantenga el "espíritu" del índice (Tévar, 1995), K= 1,621.

Excentricidad

En el estudio de la cuenca visual, no hay que olvidar la importancia del observador y, a su vez, del punto de observación. Por lo general el centro de gravedad de una cuenca visual no coincide con el punto de observación, y esa circunstancia produce una excentricidad.

Hay que tener en cuenta que un valor de la excentricidad pequeño en una cuenca visual pequeña no tendrá el mismo efecto que ese mismo valor en una cuenca visual grande, con vistas panorámicas en todas las direcciones. Por lo cual, conviene relacionarlo con algún valor característico de la cuenca visual, teniendo siempre en cuenta que resulte un índice adimensional.

Se proponen dos formas (Tévar, 1995): una primera sería utilizar el radio que correspondiera a un círculo de la misma superficie que la cuenca visual, siendo $A = \pi r^2$.

$$IE = \frac{E}{r} = \frac{E}{\sqrt{\frac{A}{\pi}}} = \frac{E*1,77}{\sqrt{A}}$$

Otra forma sería utilizar en el divisor el alcance medio (media de los alcances máximos de todas las direcciones y sentidos).

Dirección principal de la cuenca visual

El término se ha tomado de la Mecánica, haciendo un símil con las direcciones principales en la distribución de momentos de inercia axiales respecto al conjunto de rectas que pasan por un punto.

La dirección principal se calcula para el punto de observación, siendo esta dirección la que proporciona el mínimo momento de inercia de las superficies vistas.

Representación gráfica conjunta de varios índices en un mapa (Tévar, 1995)

Una representación podría hacerse utilizando un vector fijado al punto de observación con las siguientes características: la dirección será la misma que la dirección principal de momento mínimo, el sentido será el positivo del eje de ordenadas, el módulo será a escala el correspondiente al radio de un círculo con superficie igual a la cuenca visual. Si se quiere representar el índice de excentricidad, al vector se le podría añadir un punto, segmento perpendicular o cualquier marca, a una distancia del punto de observación (con la misma escala anterior) igual a la excentricidad propiamente dicha.

De esta forma, sólo se representan tres características de la cuenca visual; añadir alguna más no sería difícil, pero complicaría la representación gráfica perdiendo claridad y

siendo mas difícil interpretar las características de las cuencas visuales en el estudio conjunto de una zona.

La escala antes aludida para el caso de los métodos en los que se utilizan cuadrículas, se obtiene de tal forma que un vector en la posición más desfavorable (horizontal o vertical) no se saliese de su cuadrícula; según esto, la medida del lado de una cuadrícula sería el valor máximo que podría tomar el módulo del vector que representase la mayor cuenca visual y, por consiguiente, la escala resultaría según se expresa en la siguiente fórmula:

$$E = \frac{LC}{RM} = \frac{1}{\frac{RM}{LC}}$$

RM = Radio Máximo, correspondiente a la mayor cuenca visual

LC = Longitud del lado de una cuadrícula medida en el mapa.

4. CONCLUSIÓN.

El paisaje como recurso natural es un bien que debe preservarse; esta afirmación, fácilmente admitida en términos generales, requiere una fundamentación en las características del paisaje en cuestión cuando se desciende a lo particular. Una forma sistemática, también comúnmente admitida, de abordar la descripción es el estudio de lo que se ha venido a llamar la cuenca visual, un correlato del paisaje con una serie de índices expresivos a su vez de las mencionadas características que se pueden reflejar de manera fácil sobre el mapa topográfico.

5. REFERENCIAS

- AGUILO, M., 1981. *Metodología para la evaluación de la fragilidad visual del paisaje*. Tesis Doctoral. E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid.
- AGUILO, M. et al., 1993. *Guía para la elaboración de estudios del medio físico*. MOPT. Madrid.
- CLARK, D.B. et al., 1976. *Assessment of Major Industrial Applications: A Manual*. Department of the Environment Research Report num 13. London.
- FERNANDEZ-CAÑADAS, M., 1977. *El paisaje en la planificación física. Aproximación sistemática a su valoración*. Tesis Doctoral. E.T.S. de Ingenieros de Montes de Madrid.
- GONZALEZ BERNALDEZ, F., 1981. *Ecología y paisaje*. H. Blume Ediciones. Madrid.
- HIGUCHI, T., 1988. *The Visual and Spatial Structure of Landscape*. M.I.T. Press. Cambridge.
- LITTON, R.B., 1972. Aesthetic dimensions of the landscape. In: *Natural Environments. Studies in Theoretical and Applied Analysis*. Johns Hopkins University Press. Baltimore and London.
- MILLER, V.C., 1953. A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain area, Virginia and Tennessee. *Office of Naval Research, Geography Branch, Project NR 389-042, Technical Report 3*. In: HAGGET, P. and CHORLEY, R.J., 1969. *Network Analysis in Geography*. Edward Arnold Ltd. London.
- RAMOS, A. and AGUILÓ, M., 1988. The landscape of water: introduction. *Landscape and Urban Planning*, 16.
- STEINITZ, C. et al., 1974. *The interaction between urbanization and land. Quality and*

quantity in environmental planning and design.

Harvard University. Cambridge.

TEVAR, G., 1995. Propiedades de la cuenca visual en la descripción del paisaje. Tesis Doctoral. E.T.S. Ingenieros de Montes de Madrid.

Preguntado el Dr. Tévar sobre el Sistema de Información Geográfica más apto para la determinación de las cuencas visuales, respondió que ninguno le pareció lo suficientemente completo, por lo que tuvo que diseñar uno propio que se adaptase a sus necesidades. Los SIG comerciales disponen, obviamente, de la opción de determinar cuencas visuales, pero no es fácil saber cómo realizan los cálculos, por lo que no resulta fácil opinar acerca de su fiabilidad.

En un programa propio el cálculo no es demasiado complicado, pues es muy sencillo trabajando en coordenadas polares. Se debe considerar la curvatura de la Tierra, pues a partir de una determinada distancia un objeto vertical deja de verse por este motivo. Y en cuanto a la distancia o alcance de la percepción, hay que tener en cuenta el estudio que se va a realizar, ya que no es lo mismo estudiar un camino que una urbanización, no pudiéndose ofrecer recetas generales. Lo que está claro es que aumentar el alcance significa elevar el trabajo al cuadrado, y hay que tener muy en cuenta el tiempo y recursos disponibles. Téngase en cuenta que los índices, como el de forma de una cuenca visual, han de ser adimensionales, ya que si no, dependerían del tamaño de la cuenca, lo que, en principio, no parece un planteamiento correcto.

Con el fin de soslayar los obstáculos visuales que pudieran existir al determinar una cuenca visual, aparte de los topográficos, y dado que suelen ser puntuales, es normal añadir unos cuantos metros más de altura: elevar o no un obstáculo unos diez metros es relativamente sencillo en cualquier SIG; sin embargo, con los hechos puntuales hay que tener mucho cuidado, porque se trabaja a unas escalas en las que los hechos puntuales no se deberían tener en cuenta como obstáculos, a no ser que estuvieran muy cerca del hecho estudiado (terraplenes y desmontes en carreteras, por ejemplo). En el caso de la vegetación, debería sumarse la cota de altura media del arbolado.

Por otro lado, respecto a la calidad de los resultados obtenidos en la determinación de las cuencas visuales, éstas dependerán sobre todo de la calidad del MDT, que ha de estar muy cuidada. Sin embargo, con frecuencia hay limitaciones económicas que nos obligan a aceptar lo disponible en el momento, perdiendo la precisión debida. Datos y programa siempre podrán mejorarse, sobre todo, si se cuenta con recursos suficientes.