

Modelización de territorios ganaderos en la alta montaña al final del Neolítico: una integración de análisis espacial e información etnográfica*

Modeling livestock-herding territories in the high mountains at the end of the Neolithic: an integration of spatial analysis and ethnographic information

Ermengol Gassiot Ballbè, David Garcia Casas, Joan Nunes Alonso y Guillem Salvador Baiges

Material complementario

Supplementary material

EXPLICACIÓN DE LA FÓRMULA DEL COSTE DE DESPLAZAMIENTO

La fórmula empleada para el cálculo del tiempo de desplazamiento a pie en función de la pendiente es una ecuación estimada empíricamente mediante regresión lineal, utilizando datos promedio de desniveles (convertidos a pendiente en %) y tiempos empleados para recorrer 1 km en itinerarios publicados en guías excursionistas y páginas web de senderismo (véanse tabla A1 y figura A1).

Pendiente (%)	Tiempo para recorrer 1 km (min)
0	15,0
10	21,7
25	45,0
40	59,3
60	84,4
100	115,0
200	269,0

Tab. A1. Datos promedio de tiempo necesario para recorrer 1 km según la pendiente.

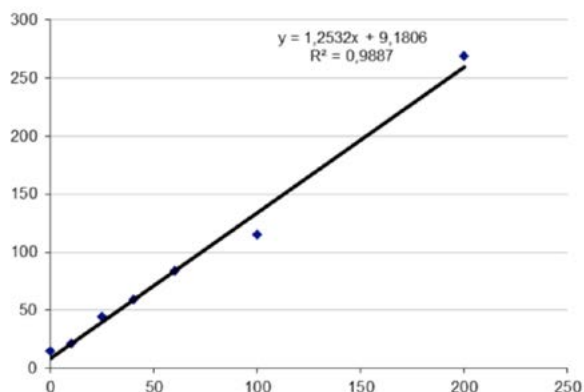


Fig. A1. Regresión lineal efectuada para estimar el tiempo necesario para recorrer 1 km en función de la pendiente en porcentaje, a partir de los datos de la tabla A1.

Además de la regresión lineal se han ensayado otras funciones, como la exponencial, obteniendo sin embargo peor ajuste ($R^2 = 0,8543$). Por ello, dado el alto grado de ajuste ($R^2 = 0,9887$), se ha adoptado como mejor estimación la ecuación obtenida de la regresión lineal.

A pesar de su simplicidad, la ecuación lineal proporciona una estimación aceptable, especialmente en los valores moderados de pendiente (hasta el 40%), que son el intervalo de pendiente útil para el desplazamiento a pie. Más allá el desplazamiento requiere un gran esfuerzo e incluso escalada. A efectos de la utilización de los tiempos de desplazamiento como superficie de coste es suficiente que los tiempos sean lo bastante altos para resultar desfavorables. Así se consigue que las funciones de estimación del camino de menor coste los descarten en favor de pasos con menor pendiente.

A continuación, se comparan los resultados de la aplicación de esta fórmula con los obtenidos, siempre mediante un algoritmo isotrópico, con las fórmulas propuestas por Tobler (1993) y Marín Arroyo (2009). Los resultados logrados mediante la ecuación propuesta ofrecen una superficie de coste intermedia entre las obtenidas mediante la fórmula de Tobler, más fragmentada, y la de Marín Arroyo, excesivamente suavizada. En las figuras A2 a A4 aparecen las distintas fórmulas adaptadas al cálculo del tiempo en minutos para recorrer 1 m, dado que, en el algoritmo de coste acumulado, los valores de coste se expresan por unidad de distancia, es decir, metros en el caso del modelo digital de elevaciones utilizado. La tabla A2 muestra también los valores alcanzados según las tres fórmulas mencionadas más la de Langmuir (1984), empleada en el módulo r-walk del programa GRASS, todas ellas en versión isotrópica considerando sólo valores de pendiente positivos.

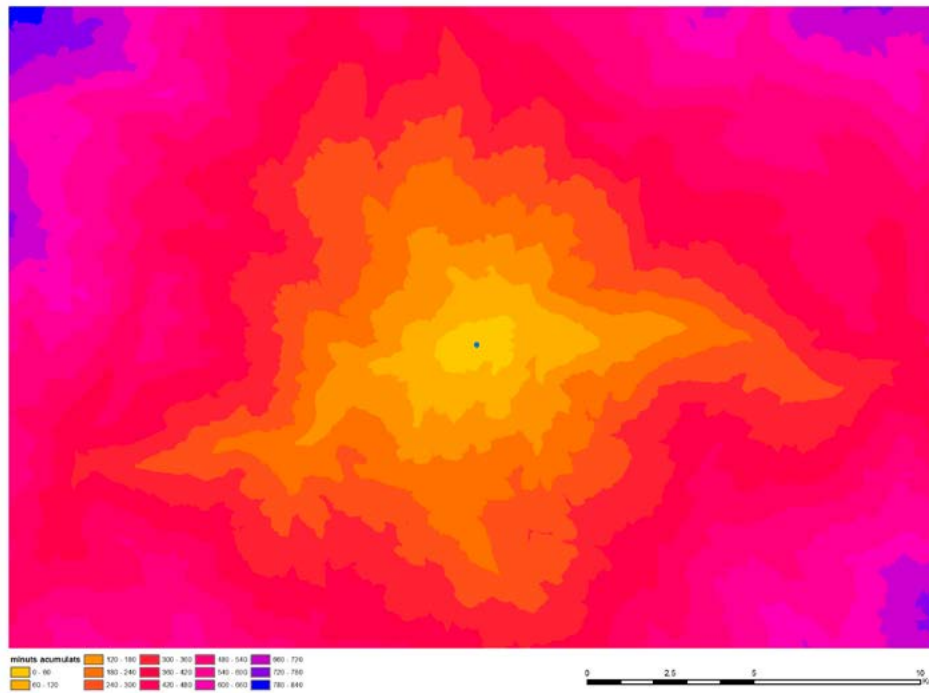


Fig. A2. Superficie de coste acumulado (isotrópico) obtenida a partir de la fórmula propuesta (minutos para recorrer 1 m): tiempo = (pendiente * 1,2532 + 9,1806) / 1000

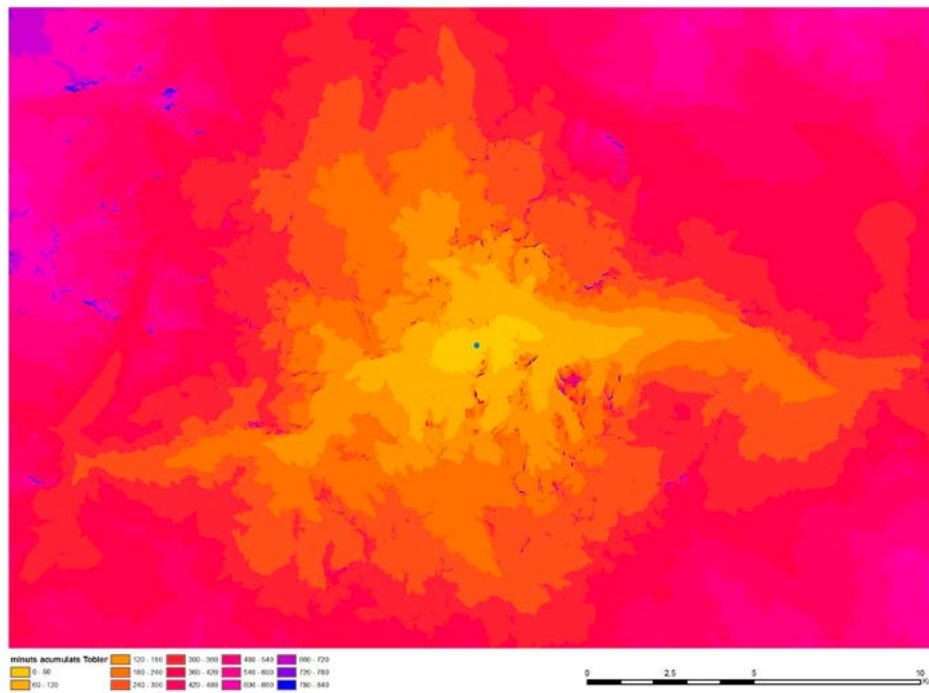


Fig. A3. Superficie de coste acumulado (isotrópico) obtenida a partir de la fórmula de Tobler 1993 (minutos para recorrer 1 m): tiempo = 0,001 * 60/6 * Exp {-3,5 * Abs [(pendiente/100) + 0,05]}

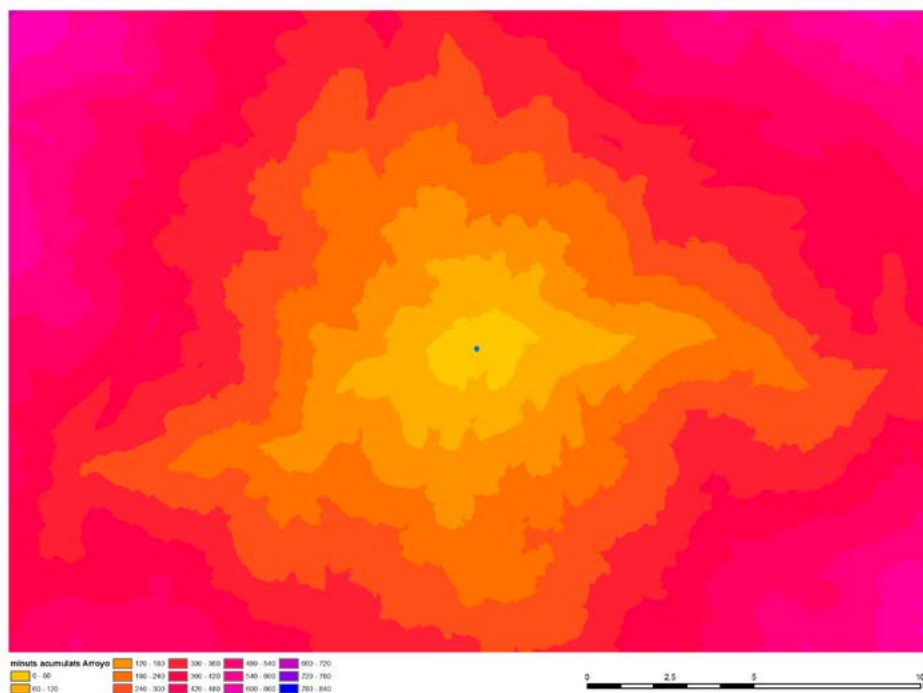


Fig. A4. Superficie de coste acumulado (isotrópico) obtenida a partir de la fórmula de Marín Arroyo 2009 (minutos para recorrer 1 m): tiempo = $\{0,6 * 1 * [(pendiente/11) + 1]\} / 60$

Pendiente (°)	Pendiente (%)	Nunes	Tobler	Marín Arroyo	Langmuir
0,0	0	9,18	11,91	10,00	12
2,9	5	15,45	14,19	14,55	17
5,7	10	21,71	16,90	19,09	22
6,8	12	24,22	18,13	20,91	24
8,5	15	27,98	20,14	23,64	27
11,3	20	34,24	23,99	28,18	32
14,0	25	40,51	28,58	32,73	37
16,7	30	46,78	34,04	37,27	42
19,3	35	53,04	40,55	41,82	47
21,8	40	59,31	48,31	46,36	52
24,2	45	65,57	57,55	50,91	57
26,6	50	71,84	68,55	55,45	62
28,8	55	78,11	81,66	60,00	67
31,0	60	84,37	97,28	64,55	72
33,0	65	90,64	115,88	69,09	77
35,0	70	96,90	138,05	73,64	82
36,9	75	103,17	164,45	78,18	87
38,7	80	109,44	195,90	82,73	92
40,4	85	115,70	233,36	87,27	97
42,0	90	121,97	277,99	91,82	102
43,5	95	128,23	331,15	96,36	107
45,0	100	134,50	394,49	100,91	112

Tab. A2. Comparación de los tiempos para recorrer 1 km según la pendiente, obtenidos de las fórmulas de Nunes (en este Anexo), Tobler (1993), Marín Arroyo (2009) y Langmuir (1984). La tabla recoge sólo los valores de tiempo hasta pendientes de 100 %. Gradientes superiores suponen inclinaciones muy pronunciadas, razón por la que dejan de tener interés para el presente estudio.