

DOS EJEMPLOS DE GRADIENTES TÉRMICOS ELEVADOS EN SUPERFICIES NATURALES Y ARTIFICIALES EN VERANO*

M^a Carmen Moreno García y Javier Martín Vide
*Universidad de Barcelona***

RESUMEN

A partir de dos campañas de medidas realizadas en verano en Carboneras (Almería) se establece el gradiente térmico vertical en la capa de aire superficial de una playa, al comparar las temperaturas de la arena y del aire. Del mismo modo, se miden las diferencias térmicas entre una pared encalada y una puerta oscura de una casa. Ambos casos revelan unas acusadas diferencias térmicas a escala microclimática, tanto en superficies naturales como artificiales, bajo radiación solar directa.

Palabras clave: Carboneras, diferencia térmica, encalado, gradiente térmico vertical, microclimatología.

ABSTRACT

From two summer field works done in Carboneras (Almería, Spain) the temperature lapse rate over a beach is established, comparing sand and air temperatures. In a similar way, the thermic differences between a white wall and a dark door of a house are measured. The two cases show high microscale thermic differences when direct solar radiation is coming, in both natural and artificial surfaces.

Key words: Carboneras, microclimatology, sand, temperature lapse rate, thermic difference, whitewashed.

1. INTRODUCCIÓN

Como es sabido, la temperatura del aire presenta una relativa homogeneidad espacial, dada su baja conductividad térmica y su escasa capacidad de absorción de la radiación solar. De ahí, por ejemplo, la práctica igualdad de los valores térmicos del aire al sol y a la sombra, cuando la lectura de la temperatura de un termómetro expuesto al sol difiere acusadamente de aquéllos, al tratarse de una superficie que absorbe la radiación solar según su albedo y otras propiedades físicas. En cambio, las superficies y sus interfaces con el aire pueden presentar, bajo radiación solar intensa, grandes diferencias de temperatura y, en consecuencia, elevados gradientes térmicos. De esta manera tiene sentido considerar, dentro de la capa límite, una 'capa superficial turbulenta', agitada por una intensa turbulencia, en parte térmica, con un espesor máximo desde la superficie de 50 m, de día, y unos pocos metros, de noche; y una 'capa límite laminar', de apenas unos milímetros, la que constituye

* Fecha de recepción: 28 de octubre de 2007.

Fecha de aceptación y versión final: 30 de noviembre de 2007.

** Departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional. Universidad de Barcelona. C/ Montalegre, 6. 08001 BARCELONA (España). E-mail: jmartinvide@ub.edu; mcmoreno@ub.edu

el aire adherido a la superficie, con elevados gradientes térmicos bajo ciertas condiciones radiativas (OKE, 1978).

En este artículo se presentan los resultados de dos campañas de observaciones microclimáticas cuyo objetivo último es evidenciar los elevados gradientes de temperatura que existen en verano bajo condiciones de buena insolación entre determinadas superficies y el aire circundante. En un caso se trata de una superficie de arena de una playa y en el otro de las superficies exteriores de una casa, diferenciando entre una pared encalada y una puerta de madera oscura. Las aplicaciones que pueden derivarse de este tipo de análisis no sólo interesan en Microclimatología, sino en Geomorfología climática, donde la termoclastia es uno de los procesos de meteorización relevante, en Arquitectura bioclimática, necesitada de registros térmicos de cara al buen diseño y elección de materiales, bajo parámetros de sostenibilidad, etc. La escasez de estudios y de datos al respecto hace necesarias campañas de observaciones en diferentes ámbitos espaciales y circunstancias temporales y meteorológicas.

2. ALGUNOS FUNDAMENTOS SOBRE LA MEDIDA DE LA TEMPERATURA DEL AIRE Y DE SUPERFICIES

La mayor o menor absorción de radiación solar de las superficies, sean naturales o artificiales, depende fundamentalmente de su color, de su textura o rugosidad superficial y de su calor específico, además del ángulo de incidencia de los rayos solares. Color, textura y ángulo de incidencia determinan el albedo de la superficie. Éste cambia a lo largo de una jornada, en especial en superficies lisas, por causa de la variación del ángulo de recepción de la radiación solar, siendo más alto cuanto más oblicuos sean los rayos solares, esto es, al amanecer y al atardecer. Respecto al color, es bien sabido que las superficies claras son reflectantes, poco absorbedoras por tanto, mientras que las oscuras tienen un comportamiento opuesto. La rugosidad de la superficie matiza el efecto del color, de manera que cuanto más lisa, más reflectante, y cuanto más rugosa, más absorbente. De esta manera, las superficies claras, blancas en su máxima expresión, lisas o pulidas, y con el Sol apenas unos grados sobre el horizonte reflejan una parte sustancial del input radiativo, mientras que las oscuras, negras en su extremo, rugosas y con el Sol alto son muy absorbentes.

La medición de la temperatura del aire con termómetros de mercurio o alcohol no plantea problemas técnicos. Ha de tenerse en cuenta, no obstante, que los instrumentos no pueden recibir radiación solar directa, porque en este caso la columna termométrica señalaría la propia temperatura del aparato y no la del aire. Deben, en consecuencia, estar protegidos de los rayos solares o al amparo de una garita meteorológica. Otra anotación es la relativa alta inercia de las dilataciones y contracciones del mercurio y el alcohol, lo que obliga a exposiciones de algunos minutos antes de realizar la lectura. Un procedimiento que mitiga aceptablemente los dos inconvenientes citados, esto es, la obligada protección cuando hay radiación solar directa y la inercia de las sustancias de las columnas termométricas, es el del termómetro-honda. Como es conocido, consiste en un termómetro usual al que se le da un volteo o agitación enérgica, con el uso de una cuerda, a modo de una honda de pastor, para que entre en contacto rápidamente con la mayor cantidad de aire posible del lugar de medida y alcance el equilibrio térmico con él, sin que dé tiempo a que absorba radiación solar. Sus mediciones de la temperatura del aire resultan aceptables y, a veces, son las únicas posibles en trabajo de campo.



Foto 1. Vista parcial de la playa de los Cocones (Carboneras, Almería), donde se realizaron las mediciones de las temperaturas de la arena y del aire.

Los termómetros digitales con sonda de ambiente o dispositivos electrónicos similares presentan una menor inercia, aunque la sonda o el sensor debe igualmente protegerse de la radiación solar directa, aparte de recibir una calibración periódica.

La temperatura del aire convencional en Meteorología es la relativa a 1,5 m de altura, por lo que ése es el nivel al que han de situarse los termómetros en el interior de las garitas meteorológicas o en sus cápsulas o soportes correspondientes. El centro de giro del termómetro-honda debiera también estar hacia 1,5 metros de altura, para que en “promedio” la temperatura registrada pueda asignarse a la citada altura estándar.

La medida de la temperatura de una superficie sólida cuenta desde hace algunos años con la ayuda de los termómetros de infrarrojos, de empleo en diferentes disciplinas ambientales y en ámbitos industriales. Su uso correcto ha de cumplir con los requisitos y especificaciones técnicas del aparato, entre ellos una distancia relativamente corta a la superficie cuya temperatura se ha de medir.

3. DISEÑO DE LAS CAMPAÑAS DE MEDIDA E INSTRUMENTAL EMPLEADO

Las campañas de medidas se desarrollaron desde finales de julio a finales de agosto de 2004 y entre la última semana de julio y mediados de agosto de 2005 en la población de Carboneras (Almería), situada en el ámbito mediterráneo más árido de la Península Ibérica (Capel Molina, 2000; Martín Vide y Olcina, 2001). Las mediciones de la temperatura de la arena y las correspondientes del aire se realizaron en el sector central de la playa de los Cocones, de unos 100 m de ancho, de la citada población, a unos 30 m de la línea de mar. Su abundante arena es de color gris claro y granulometría media. Hay que precisar que se tomó la temperatura de la superficie de la arena. Para ello se promediaron varios registros en una porción del sector de playa citado, que compensan las diferencias de temperatura entre las diferentes exposiciones de las acumulaciones de arena. El horario de las observaciones comprende desde unas 2 horas antes del mediodía astronómico hasta 3 horas después, predominando los registros de después del mediodía, para incluir los valores presumiblemente más elevados.



Foto 2. Vista de la fachada de la casa en cuya pared y puerta se realizaron mediciones de la temperatura.

Las mediciones de la temperatura de la fachada tuvieron lugar en una pared de una casa blanca, aunque con encalado de varios años en buen estado, orientada al WNW, en sombra, por tanto, hasta el mediodía y primeras horas de la tarde. La puerta cuya temperatura se tomó a las mismas horas tenía un color marrón oscuro y estaba situada en la misma pared. Ambas se tomaron a una altura de 1,5 m, para compararlas con la del aire de los alrededores. El horario de las observaciones comprende desde unas 2 horas y media a unas 4 horas y media después del mediodía astronómico.

Todas las mediciones, las de la playa y las de la fachada, fueron acompañadas por observaciones del estado del cielo (cantidad de nubes, en octas, y géneros) y del viento (velocidad estimada según cinco categorías –calma, muy flojo, flojo, moderado y fuerte- y dirección según la rosa de vientos de 8 rumbos, aunque con preferencia por los 4 rumbos básicos).

Los aparatos utilizados fueron un termómetro simple de alcohol del INM para la temperatura del aire, que permitía apreciar hasta el medio grado centígrado, y un termómetro de infrarrojos, marca Optex (thermo-hunter; modelo PT-2LD).

4. RESULTADOS

4.1. Gradiente térmico arena-aire

En el cuadro 1 se presentan todos los registros de temperatura de la arena y del aire correspondientes junto con las observaciones meteorológicas complementarias. Dada la importancia de la existencia de radiación directa en el instante de la observación, así como en los momentos previos, en el valor de la temperatura de la arena, se indica explícitamente.

Cuadro 1. Temperaturas del aire (t.Ai) y de la arena (t.Ar) y observaciones meteorológicas complementarias registradas en la playa de los Cocones (Carboneras).

Fecha	Hora	T.ai	T. ar.	Rad.direc..	Nubosidad	Viento
4-8-2004	14:30	35	55	Sí	0	Flojo, S
5-8-2004	14:30	31	48	Sí	1; St fra, Cu	Flojo, E
12-8-2004	15:00	35	51	Sí	0	Flojo, S
13-8-2004	15:00	33	53	Sí	0	Muy flojo, E
14-8-2004	15:00	31	45	Sí	1; Ci, St fra	Flojo, NE
16-8-2004	12:00	31	51	Sí	0	Flojo, S
18-8-2004	10:55	35	52	Sí	0	Flojo, W
	11:55	36	50	Sí	0	Moderado, W
19-8-2004	11:10	32	51	Sí	0	Flojo, W
	12:20	33	48	Sí	0	Moderado, W
20-8-2004	11:15	31	53	Sí	0	Calma
	12:20	29	55	Sí	0	Calma
21-8-2004	11:05	30	42	No(1)	5; Cu, Sc	Flojo, NE
	12:04	31	48	Sí	1; Cu, Sc	Flojo, E

Fecha	Hora	T.ai	T. ar.	Rad.direc..	Nubosidad	Viento
22-8-2004	11:15	29	45	Sí	5; Ac	Moderado, E
	12:45	30	46	Sí	5; Ac	Flojo, E
26-8-2004	10:50	30	44	Atenuada(2)	8; Ci,Cs,Ac,Cu,St	Flojo, NE
	12:10	31	46	Atenuada	7; Ci,Cs,Ac,Cu,St	Flojo, NE
27-8-2004	11:10	30	43	Casi nula	8; Ac,Cu,Sc,St	Flojo, NE
	12:25	32	49	Atenuada	7; Ac,Cu,Sc	Flojo, E
28-8-2004	11:10	30	48	Sí	1; St, Cu	Flojo, NE
	12:30	31	52	Sí	4; St, Cu	Flojo, E
29-8-2004	11:10	28	44	Sí	1; Cu, St	Flojo, E
	12:10	32	48	Sí	0	Flojo, E
24-7-2005	10:05	30,5	45	Sí	0	Flojo, S
	11:55	28,5	46	Sí	0	Moderado, S
	14:50	36	49	Sí	0	Flojo, S
25-7-2005	10:02	35	49	Sí	0	Flojo, W
	11:37	35,5	51	Sí	0	Flojo, W
	14:25	36	50	Sí	0	Flojo, W
26-7-2005	10:30	31	49	Sí	0	Flojo, S
	11:40	34	51	Sí	0	Flojo, S
	14:45	34	51	Sí	0	Flojo, S
27-7-2005	10:10	29,5	48	Sí	0	Calma
	11:40	30	52	Sí	0	Muy flojo, S
	14:30	34	49	Sí	0	Flojo, S
28-7-2005	10:30	30	51	Sí	1; Ci	Calma
	11:55	31,5	54	Sí	3; Ci	Muy flojo, S
	14:30	32	46	No	6; Ac, Ci	Calma
29-7-2005	10:45	30	48	Sí	0	Flojo, SW
	11:53	35	53	Sí	0	Moderado, SW
	14:43	36	49	Sí	0	Flojo, SW
30-7-2005	10:45	31,5	54	Sí	0	Calma
	12:20	32	55	Sí	0	Calma
	14:50	32	53	Sí	0	Calma
31-7-2005	10:45	31	47	Sí	1; Cu, Cu fra	Flojo, E
	12:00	31,5	48	Sí	1; Cu, Cu fra	Flojo, E
	14:30	31,5	48	Sí	2; Cu, Cu fra	Muy flojo, E
1-8-2005	10:35	27	26	No	8; Ns,Sc,Cu,Cu fra, Cu con, St; lluvia	Calma
	11:55	28,5	32	No(3)	8; Cu,Cu fra, Sc	Calma
	14:30	28,5	35	No(4)	7; Cu,Sc,Cu fra	Flojo, S
2-8-2005	12:05	31	51	Sí	1; Ac, Cu con, Cu	Flojo, NE
	14:22	31	44	Algo atenuada	3; Cu,Cu fra,St fra	Moderado, E

Fecha	Hora	T.ai	T. ar.	Rad.direc..	Nubosidad	Viento
3-8-2005	10:35	30	46	Sí	4;Cu,Cu con,Cu fra, Sc	Moderado, NE
	12:20	30,5	46	Sí	1; Cu, Cu fra	Flojo, NE
	14:40	30	43	Sí	1; Cu, Cu fra	Moderado, NE
4-8-2005	12:25	30	44	Sí	0	Moderado, E
	14:25	30	42	Sí	0	Flojo, E
5-8-2005	10:45	30	44	Sí	0	Flojo, E
	12:20	28,5	44	Sí	0	Moderado, E
	14:30	30,5	41	Sí	0	Flojo, E
6-8-2005	10:43	31,5	46	Sí	0	Muy flojo, E
	11:54	32	51	Sí	0	Muy flojo, E
	14:45	30	50	Sí	0	Muy flojo, E
7-8-2005	9:45	29	44	Sí	1; Ac	Calma
	11:25	31	51	Sí	0	Muy flojo, S
	14:10	31,5	48	Sí	1; Cu, Ac	Flojo, S

(1).- Intervalos de radiación directa poco antes de la observación. (2).- Sin radiación directa hasta 15 minutos antes de la observación. (3).- Primeros rayos de Sol unos minutos antes de la observación; arena seca en superficie, pero húmeda por debajo. (4).- Lució el Sol hasta unos 10 minutos antes de la observación.

Los 67 registros tomados dan una temperatura media de la arena de 47,6°C, frente a 31,4°C de la del aire (a 1,5 m de altura), es decir, una diferencia entre ambas de 16,2°C. Esto supone un gradiente vertical de 10,8°C/m. El valor medio de la temperatura superficial de la arena se corresponde con una sensación de superficie muy caliente. El valor máximo registrado fue 55°C, en tres ocasiones, lo que va asociado a la sensación de que la arena quema. Si se eliminan los tres registros del 1 de agosto de 2005, con el cielo cubierto o casi cubierto, sin radiación solar directa e incluso con lluvia en el primero, la diferencia entre las temperaturas de la arena y del aire pasa a ser de 16,8°C/m y el gradiente térmico sube a 11,2°C/m. La máxima diferencia registrada entre las temperaturas del aire y la arena fue de 26°C, lo que supuso un gradiente térmico vertical de 17,3°C/m. En resumen, se establece, en todo caso, una acusada diferencia de temperatura entre la superficie y las capas inferiores del aire. En 46 de los 67 registros (cerca de un 70%) el gradiente térmico vertical fue igual o superior a 10°C/m y en 4 de ellos igual o superior a 15°C/m.

Un análisis detallado de los registros permite anotar otros hechos de interés microclimático. Así, con radiación solar directa, la temperatura de la arena siempre superó a la del aire en más de 10°C. El viento en calma o muy flojo, que no permite la ventilación de la arena, favorece los gradientes elevados. Cuando se dispone de varios registros en una jornada, la temperatura de la arena es algo más elevada en la observación próxima al mediodía astronómico, que en la previa o en la de unas 2 a 3 horas después, salvo incidencia del viento. Aunque haya habido nubosidad algo abundante, con atenuación o inexistencia de radiación solar directa en las horas o incluso minutos anteriores a los registros, la temperatura de la arena se eleva con rapidez en cuanto vuelve a lucir el Sol. Por todo ello la correlación entre las temperaturas del aire y de la arena, siendo significativa y positiva, es sólo discreta: +0,56.

4.2 Diferencias térmicas fachada encalada–puerta oscura

En el cuadro 2 se presentan todos los registros de temperatura de la fachada encalada y de la puerta oscura y del aire correspondientes, junto con las observaciones meteorológicas complementarias, reducidas en este caso a la existencia o no de radiación directa y a la fuerza del viento. Como la orientación de la calle induce en gran medida la dirección del viento, esta observación carece de interés. El registro de la nubosidad es, igualmente, secundario.

Cuadro 2. Temperaturas del aire (t.Ai) y de la fachada (t.F) y la puerta (t.P) de una casa de carboneras, y observaciones meteorológicas complementarias.

Fecha	Hora	T.ai	T.f.	T.p.	Rad.direc..	Viento
30-7-2004	14:50	32	36	58	Sí	Calma a flojo(1)
31-7-2004	16:43	31	34	53	Sí	Calma a flojo
1-8-2004	14:47	33	34	48	Sí	Calma a flojo
2-8-2004	14:35	34	34	51	Sí	Calma a flojo
2-8-2004	16:41	32	37	60	Sí	Calma a flojo
3-8-2004	16:35	33	35	41	Muy atenuada	Moderado
4-8-2004	14:40	38	36	56	Sí	Calma a flojo
4-8-2004	16:30	35	38	60	Sí	Calma a flojo
5-8-2004	14:40	33	33	53	Sí	Calma a flojo
5-8-2004	16:30	32	37	65	Sí	Calma a flojo
6-8-2004	16:30	31	33	49	Sí	Calma a flojo
10-8-2004	16:33	31	35	55	Sí	Moderado
12-8-2004	15:06	37	38	58	Sí	Flojo
13-8-2004	15:06	35	37	60	Sí	Calma
14-8-2004	15:08	32	33	53	Sí	Calma
18-8-2004	16:04	33	35	49	Sí	Moderado
20-8-2004	14:47	33	33	51	Sí	Calma
	16:35	26	33	54	Sí	Flojo
22-8-2004	14:50	31	32	47	Sí	Flojo
26-8-2004	14:29	31	32	47	Sí	Flojo
24-7-2005	14:55	36	36	58	Sí	Flojo
25-7-2005	14:32	34,5	34	48	Sí	Flojo
	16:00	35	38	60	Sí	Flojo
26-7-2005	14:55	36	36	58	Sí	Calma
27-7-2005	14:35	35	36	55	Sí	Muy flojo
	16:00	36	37	60	Sí	Flojo
28-7-2005	14:35	34	33	45	No	Calma
	16:15	32	34	54	Sí	Muy flojo
29-7-2005	14:48	36,5	37	55	Sí	Flojo
30-7-2005	14:55	34	34	58	Sí	Calma

Fecha	Hora	T.ai	T.f.	T.p.	Rad.dirrec..	Viento
31-7-2005	14:40	34	34	54	Sí	Calma
	16:30	32	34	49	No(2)	Muy flojo
1-8-2005	14:35	29,5	30	35	No	Calma
2-8-2005	14:30	33	33	50	Sí	Calma
	16:25	31,5	35	59	Sí	Calma
3-8-2005	14:50	32,5	32	50	Sí	Flojo
	16:20	31	34	56	Sí	Flojo
4-8-2005	14:35	32	32	49	Sí	Muy flojo
	15:50	32	34	57	Sí	Muy flojo
5-8-2005	14:42	32	32	48	Sí	Muy flojo
6-8-2005	14:55	33	34	55	Sí	Muy flojo
7-8-2005	14:20	33,5	34	48	Sí	Muy flojo
	16:15	31,5	35	52	Algo atenuada	Muy flojo

(1).- Calma a flojo indica que la fuerza del viento durante la observación estuvo entre los valores de calma, muy flojo o flojo, sin precisar cuál de ellos. (2).- Durante la hora anterior a la observación hubo intervalos con radiación directa.

Los 43 registros tomados dan una temperatura media de la fachada encalada de 34,5°C, frente a 53,0°C de la de la puerta de madera de color marrón oscuro (a la misma altura, de aproximadamente 1,5 m de altura), es decir, una diferencia entre ambas de 18,5°C. El valor medio de la temperatura del aire fue 33,0°C. Los valores máximos registrados fueron 38°C para las temperaturas del aire y de la pared encalada y de 65°C para la puerta. Si se elimina el registro singular del 1 de agosto de 2005, las temperaturas medias de la pared y de la puerta son 34,6°C y 53,5°C, y la del aire, 33,1°C. En todo caso, lo más importante es el destacado papel que ofrece el encalado, blanqueo o enjalbegado de las paredes de las casas, que mantiene la temperatura de las fachadas muy poco, en promedio, por encima de la del aire en el centro de las jornadas soleadas del verano.

Al “dispararse” la temperatura de la puerta en cuanto existe incidencia de los rayos solares sobre ella, la correlación entre ella y la del aire no es significativa (+0,26), mientras que la correlación entre las temperaturas del aire y de la fachada es positiva y significativa (+0,57). La mejor correlación es la que se establece entre las temperaturas de la fachada y de la puerta (+0,71), porque, a pesar de la discrepancia de sus valores y de la diferente respuesta ante la radiación solar, es éste el input decisivo en su nivel térmico.

5. CONCLUSIONES

- 1) Los estudios microclimáticos no sólo tienen un gran interés *per se*, por el conocimiento de los procesos de las escalas más detalladas del sistema climático y de las interfaces superficie-aire que suponen, sino en cuanto a sus aplicaciones en Arquitectura bioclimática o sostenible, Geomorfología climática, etc., aunque existen pocos trabajos y datos disponibles.
- 2) Con el uso de un termómetro convencional y uno de infrarrojos, y a partir de 67 observaciones dobles de las temperaturas del aire y de la arena en una playa almeriense

durante dos campañas estivales, en horarios próximos al mediodía astronómico, puede establecerse un gradiente de unos 11°C/m, entre la superficie arenosa y 1,5 m de altura. Con radiación solar directa, la temperatura de la arena siempre superó a la del aire en más de 10°C. El viento en calma o muy flojo favorece los gradientes elevados. La temperatura de la arena es algo más elevada en la observación próxima al mediodía astronómico, que en la de unas 2 a 3 horas después.

- 3) A partir de 43 observaciones triples de las temperaturas del aire, de una fachada encalada y de una puerta de madera marrón oscura, se aprecia la acusada diferencia de valores alcanzados bajo condiciones de radiación directa entre las superficies, que se aproxima, en promedio, a los 20°C a favor de la puerta, para una exposición oblicua y orientada al NNW después del mediodía. En cambio, la diferencia térmica entre la pared encalada y el aire es de tan sólo 1,5°C a favor de la primera, lo que realza el papel bioclimático termorregulador del encalado tradicional, típico de la arquitectura rural, en muchas regiones españolas con verano cálido y con elevada insolación.

BIBLIOGRAFÍA

- CAPEL MOLINA, J.J.(2000): *El clima de la Península Ibérica*, Barcelona, Ariel.
- MARTÍN VIDE, J. y OLCINA, J. (2001): *Climas y tiempos de España*, Madrid, Alianza Editorial.
- OKE, T.R.(1978): *Boundary Layer Climates*, London , Methuen.