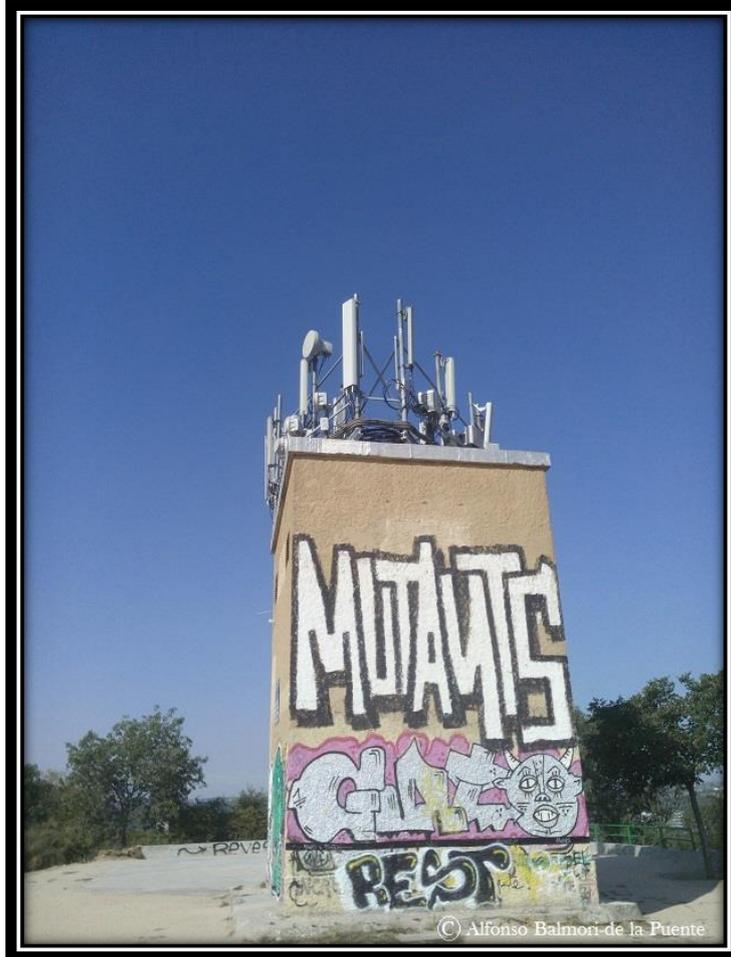




**Modelos cartográficos de las radiaciones electromagnéticas de
radiofrecuencia y baja frecuencia del Campus de Moncloa y estudio de la
existencia de posibles efectos sobre la fauna**



Máster Universitario en Biología de la Conservación

Septiembre de 2015

Autor: Alfonso Balmori de la Puente

Tutores: Francisco José Cabrero Sañudo y José Ignacio Aguirre de Miguel

Índice

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
MATERIAL Y MÉTODOS	5
Área de estudio	5
Diseño del trabajo	7
Métodos aplicados para el trabajo con radiaciones electromagnéticas	9
Métodos aplicados para el tratamiento de los datos de fauna (mariposas diurnas y aves) ..	13
1. Mariposas diurnas	13
2. Aves	15
3. Interacción mariposas diurnas y aves	15
Variables consideradas.....	16
Tratamiento estadístico	17
RESULTADOS	18
Radiación electromagnética.....	18
Fauna (mariposas diurnas y aves)	20
1. Mariposas diurnas	22
2. Aves	23
3. Interacción mariposas diurnas y aves	23
Análisis estadísticos.....	24
1. Mariposas diurnas	24
2. Aves	24
3. Interacción mariposas diurnas y aves	26
DISCUSIÓN.....	27
Radiación electromagnética.....	27
Análisis estadísticos.....	29
Conclusiones	31
AGRADECIMIENTOS.....	32
BIBLIOGRAFÍA.....	33
ANEXO I	37

RESUMEN

El aumento de las emisiones ondulatorias en el rango de las radiofrecuencias en la atmósfera terrestre, ha provocado un incremento sustancial de la contaminación electromagnética, tanto en las ciudades como en los núcleos rurales, en los últimos años. Estas emisiones, junto con las radiaciones de baja frecuencia producidas por los tendidos eléctricos (también en constante aumento como consecuencia de la demanda creciente de energía eléctrica) han mostrado diferentes afecciones sobre los seres vivos.

En el presente trabajo se elaboran y describen distintos modelos cartográficos, de la radiación electromagnética en el rango de las radiofrecuencias y también de la baja frecuencia existente en el Campus de Moncloa (Ciudad Universitaria, Madrid), utilizando herramientas GIS. Además, se analiza, empleando modelos estadísticos, el posible efecto de éstas radiaciones sobre los grupos faunísticos de las aves y las mariposas que se utilizan como bioindicadores en este trabajo. También se estudia la posible relación entre la riqueza de mariposas y la de aves en el área de estudio.

De los resultados obtenidos, se concluye que la intensidad de campo electromagnético no varía a lo largo del año, ni para las radiaciones de baja frecuencia ni para las radiofrecuencias analizadas. Es preferible realizar mediciones en los distintos puntos utilizando los instrumentos de medición apropiados, que estimar los niveles de radiación existentes en cada lugar a partir de los focos emisores. No se han obtenido resultados significativos sobre la existencia de efectos nocivos de las variables analizadas sobre la fauna aunque se estima necesario repetir los análisis estadísticos modificando algunos aspectos metodológicos que se explican en el trabajo con más detalle, para mejorar la adecuación de los datos faunísticos al estudio planteado. Por último, la riqueza de especies de mariposas en un lugar parece condicionar favorablemente la de aves y viceversa, lo que podría ser indicativo de que la diversidad de un grupo faunístico favorece la diversidad de otros grupos relacionados.

Palabras clave: Baja frecuencia, fauna, modelos cartográficos, radiación electromagnética, radiofrecuencias.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de las tecnologías de la comunicación ha contribuido al proceso conocido como globalización. Estos avances, unidos al crecimiento experimentado por la población en las últimas décadas, han aumentado exponencialmente la existencia de las emisiones ondulatorias en el rango de las radiofrecuencias en la atmósfera terrestre, como consecuencia, en primer lugar, de la proliferación de antenas de radio y televisión. Estas instalaciones normalmente se han venido instalando en lugares elevados y en zonas alejadas de los núcleos de población.

Fue a partir de los años 90 cuando se produjo la expansión de la red de estaciones base de telefonía, que ha incrementado sustancialmente la contaminación electromagnética tanto en las ciudades como en los núcleos rurales al situarse en zonas más cercanas e incluso en el interior de las poblaciones humanas (Balmori, 2004a).

En la actualidad se sabe que en las áreas situadas a menos de 300 metros de las antenas, se obtienen valores de intensidades de campo electromagnético que superan ampliamente los valores a partir de los cuales se han sugerido efectos biológicos (Haumann *et al.*, 2002), que se producen generalmente con intensidades mayores de 600 mV/m (Conferencia de Salzburgo, 2000). Por esta razón, desde hace años se están investigando nuevos tipos de antenas para reducir la potencia necesaria para el establecimiento de la comunicación (Cooper y Goldberg, 1996; Cooper, 2003).

Las radiaciones electromagnéticas transportan paquetes de energía denominados fotones (Aguilar, 2001). Las antenas de telefonía emiten ondas electromagnéticas con una frecuencia portadora de 900 MHz, 1800MHz y 2300 MHz dependiendo del sistema tecnológico empleado (GSM, DCS o UMTS). Estas frecuencias son conocidas comúnmente como microondas (rango comprendido entre 1 y 300 GHz) y se encuentran dentro del rango ocupado por las radiofrecuencias (entre 10 MHz y 300 GHz) (Balmori, 2004a).

A pesar de que hay estudios que no encuentran efectos de las microondas sobre los seres vivos, desde hace más de tres décadas existe una evidencia creciente acerca de los efectos biológicos que presentan estas radiaciones, al intervenir sobre el sistema nervioso y alterar numerosos procesos biológicos (Hyland, 2000, 2001).

Según la revisión publicada por Balmori (2009), distintos estudios han detectado una gran diversidad de efectos adversos en aves como la Cigüeña blanca (*Ciconia ciconia* Linnaeus, 1758) y el Gorrión común (*Passer domesticus* L., 1758) (véase Figura 1), mamíferos como las ratas y otros roedores, anfibios como la Rana bermeja (*Rana temporaria* L., 1758), invertebrados como el gusano de la harina (*Tenebrio molitor* L., 1758) y árboles y plantas como el Pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.) y el tomate (*Lycopersicon esculentum* Miller).

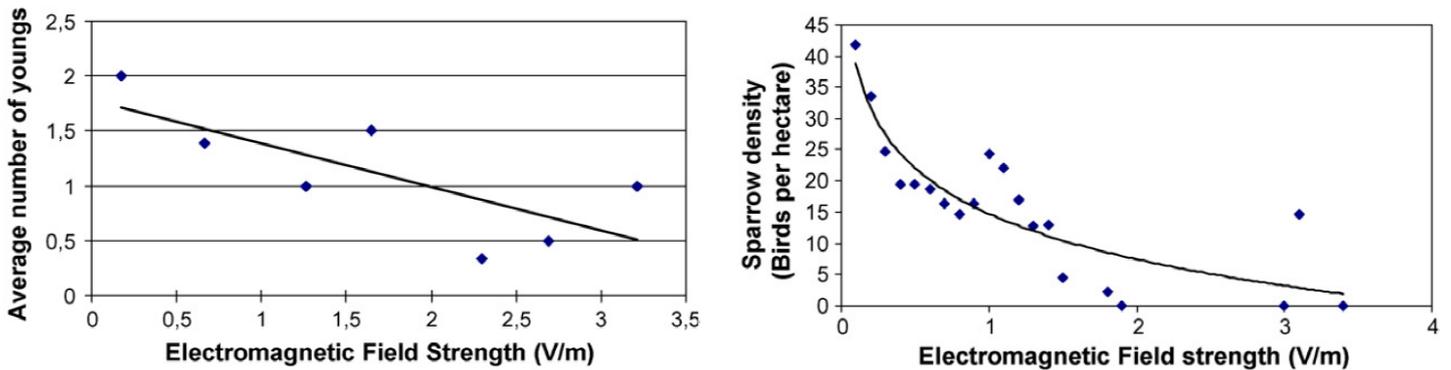


Figura 1. Representación de dos formas en las que se pueden ver perjudicadas las aves en presencia de distintas intensidades de campo electromagnético. A la izquierda, en el número de medio de jóvenes de Cigüeña blanca, y, a la derecha, en la densidad de Gorriónes comunes. Tomado de Balmori, 2009.

Concretamente, en los invertebrados se ha detectado un incremento en la síntesis de proteínas de estrés, que son sintetizadas cuando las células se ven expuestas a condiciones ambientales adversas. Este aumento se ha observado tanto en nematodos (De Pomerai *et al.*, 2000) como en insectos como *Drosophila* (Weisbrot *et al.*, 2003) expuestos a estas radiaciones electromagnéticas.

En aves, las microondas afectan principalmente a los sistemas nervioso, inmunitario y reproductor (Kondra *et al.*, 1970; Krueger *et al.*, 1975; Tanner y Romero-Sierra, 1982; Beasond y Semm, 2002), además algunas radiofrecuencias interfieren con sus sistemas magnéticos de orientación y navegación (Engels *et al.*, 2014). Al tener la capacidad para percibir estos campos magnéticos (Liboff y Jenrow, 2000), podrían evitar activamente las zonas de elevada contaminación electromagnética (Balmori, 2003).

Respecto a las posibles explicaciones para entender los resultados contradictorios sobre si existen o no efectos dañinos de las microondas en los seres vivos, cabe citar que los experimentos que estudian estos efectos son complejos, debido a que existe un número elevado de variables a controlar. La dificultad existente para controlarlas hace que sea

complicado encontrar unas condiciones idénticas necesarias para la replicación (Tanner y Romero-Sierra, 1982). Los estudios realizados en el campo, fuera de los laboratorios, son todavía más difíciles de controlar.

Sobre las radiaciones de baja frecuencia, el incremento de la población y el consiguiente desarrollo de la urbanización también han provocado una demanda creciente de energía eléctrica. Como consecuencia, un gran número de tendidos eléctricos han sido instalados en el medio natural, produciendo afecciones sobre los seres vivos que habitan en él, las más conocidas, pero no las únicas, la electrocución y colisión.

Diferenciamos cuatro tipos principales de impactos de los tendidos eléctricos sobre el entorno: impacto en el paisaje, contaminación acústica y electromagnética, cambios en el hábitat e interacciones con la fauna (Ferrer, 2012).

Respecto a la contaminación electromagnética producida por los tendidos, podemos diferenciar dos tipos de radiaciones emitidas: radiación ultravioleta y radiación de baja frecuencia.

Sobre la radiación ultravioleta, se ha observado que los tendidos eléctricos emiten unas luces no percibidas por el rango de luz visible humano creando barreras, muchas veces infranqueables, para mamíferos y aves nidificantes en suelos (Vistnes & Nellemann, 2008; Pruett *et al.* 2009; Degteva & Nellemann, 2013). Un ejemplo de este efecto se observó en los renos salvajes de Escandinavia (Tyler *et al.*, 2014), incapaces de cruzar tendidos en sus migraciones altitudinales.

En cuanto a radiación de baja frecuencia, existen algunos trabajos que analizan los efectos de estas radiaciones sobre los insectos, concretamente sobre la mosca del vinagre (*Drosophila melanogaster* Meigen, 1830), observando afecciones al desarrollo y a la supervivencia (Ma y Chu, 1993; Mirabolghasemi y Azarnia, 2002). Además, algunos investigadores advierten que estos campos magnéticos constituyen factores generadores de estrés (Stamenkovic-Radak *et al.*, 2001). Otros estudios, han observado efectos sobre la biología reproductiva y la fisiología de las aves (Ferne y Reynolds, 2005). Vaitkuvienė y Dagys (2014) detectaron efectos negativos en el éxito reproductivo de las Cigüeñas blancas que anidaban sobre tendidos eléctricos operativos comparadas con las parejas que anidaban sobre otros no funcionales.

En el presente trabajo se ha elaborado un mapa de la radiación electromagnética, en el rango de las radiofrecuencias y también de la baja frecuencia existente en el Campus de

Moncloa (Ciudad Universitaria, Madrid), y se ha analizado el posible efecto de éstas sobre los grupos faunísticos bioindicadores de las aves y de las mariposas, ampliamente estudiados por el Equipo de Seguimiento de Fauna de la UCM (Departamento de Zoología y Antropología Física, Facultad de Ciencias Biológicas).

Los objetivos principales de este trabajo han sido elaborar los modelos cartográficos de las radiaciones de baja frecuencia y las radiofrecuencias medidas en el entorno del Campus de Moncloa, utilizando aparatos adecuados para tal fin, así como observar si existen variaciones estacionales de la radiación incidente en cada punto concreto mediante la realización de análisis de repetibilidad. Se han utilizado los modelos generados para analizar las posibles afecciones sobre las aves y mariposas del Campus. Para ello se ha intentado controlar la posibilidad de que otras variables distintas a la radiación pudieran también afectar a los análisis y se ha estudiado también si existe algún tipo de relación entre la riqueza de mariposas y las aves presentes en el área de estudio.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

El trabajo fue realizado en el CEI-Campus Moncloa (CIU-Ciudad Universitaria, Madrid, España), un entorno muy humanizado y bastante heterogéneo, compuesto por una serie de facultades, escuelas, carreteras, campos deportivos, centros y museos, rodeados por una amplia gama de pinares y otras zonas cubiertas de vegetación ornamental y silvestre, tanto arbustiva como herbácea. La localización concreta del área de trabajo es el distrito de Moncloa-Aravaca situada a una altitud de unos 664 m.s.n.m., al noroeste de la ciudad de Madrid (España) (Figura 2). Su temperatura media anual para 2013 fue de 15°C y su precipitación anual total para el mismo año de 373 mm (INE, 2015).

La zona de trabajo se caracteriza por una época estival larga y de carácter muy seco, consecuencia de los vientos provenientes del SE, compartidos con el resto de la Meseta sur en dicha época, mientras que los otoños muestran un carácter más templado gracias a la protección que ejercen las sierras que rodean a la ciudad de Madrid frente a las invasiones frías propias de la estación otoñal (Font Tullot, 1983). Debido a los dos factores comentados, el área de estudio presenta un largo período de aridez (Gavilán *et al.*, 1993).

En cuanto al tipo de vegetación, el territorio estudiado se encuentra dentro de la región mediterránea, principalmente en el piso mesomediterráneo, aunque la parte más

oriental se corresponde con el piso supramediterráneo. Se encuentra en la zona de contacto entre las series de vegetación mesomediterránea manchega y aragonesa basófila de *Quercus rotundifolia* L. o encina (*Bupleuro rigidi-Querceto rotundifoliae sigmetum*) y supra-mesomediterránea guadarrámica, ibérico-soriana, celtibérico-alcarreña y leonesa silicícola de *Quercus rotundifolia* o encina (*Junipero oxycedri-Querceto rotundifoliae sigmetum*). Las etapas más evolucionadas de la sucesión estarían formadas por encinas (Rivas Martínez, 1987).

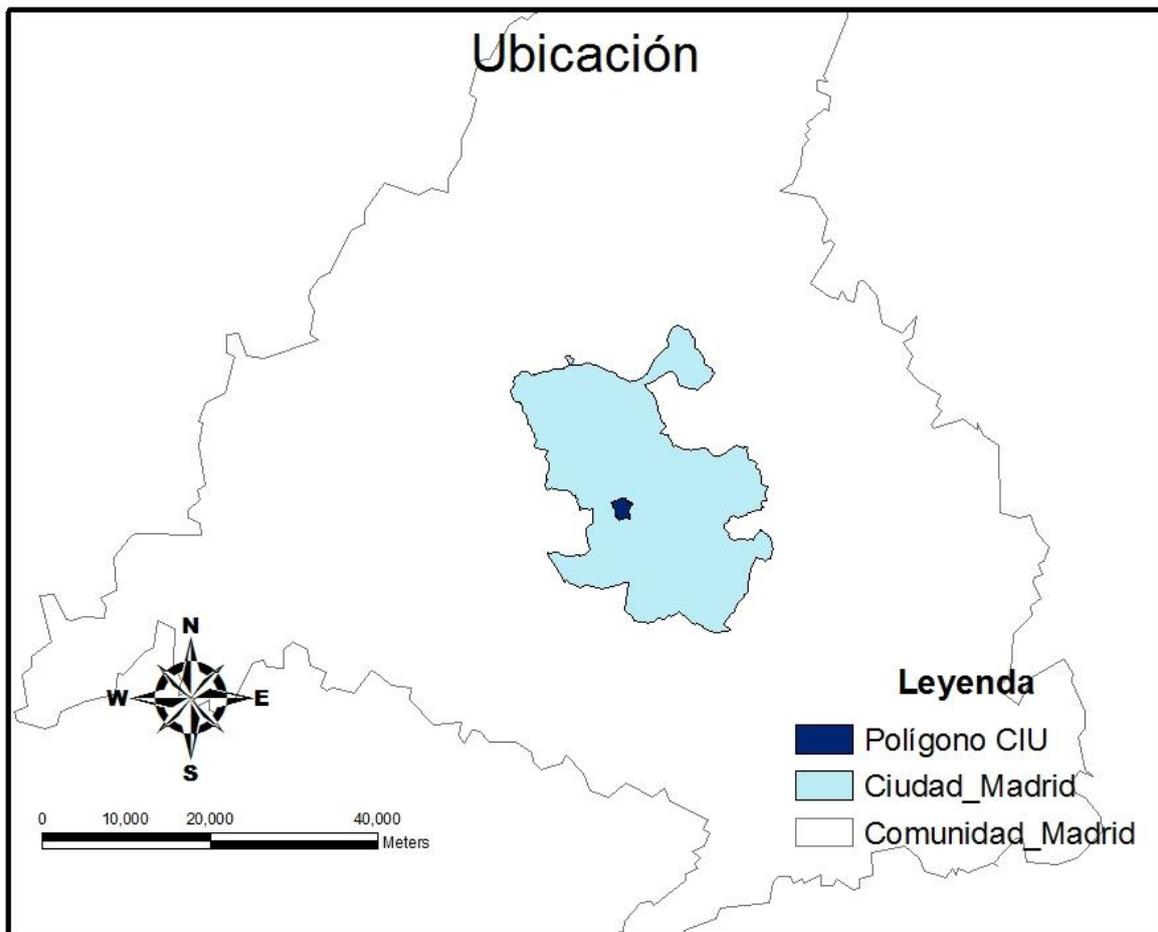


Figura 2. Localización del área de trabajo dentro de la Comunidad de Madrid y de su Ciudad.

Debido a la elevada presión antrópica que soporta este territorio, presenta una elevada composición de plantas nitrófilas y ruderales. Además, cabe señalar que tanto el cultivo de plantas ornamentales alóctonas en los jardines y praderas del campus, como la remoción de tierras y obras de infraestructura, inestabilizan su flora creando una diversidad fluctuante (Gavilán *et al.*, 1993).

A pesar de estar situado en una zona altamente urbanizada, se encuentra rodeada de zonas verdes prácticamente en todas las direcciones. Con el parque Dehesa de la Villa al Noreste, el Monte de El Pardo al Norte y el Parque del Oeste y la Casa de Campo al suroeste,

mantiene un reservorio de flora y fauna que permite el paso de ciertas especies a zonas interiores de la ciudad (González, 2014) (Figura 3).

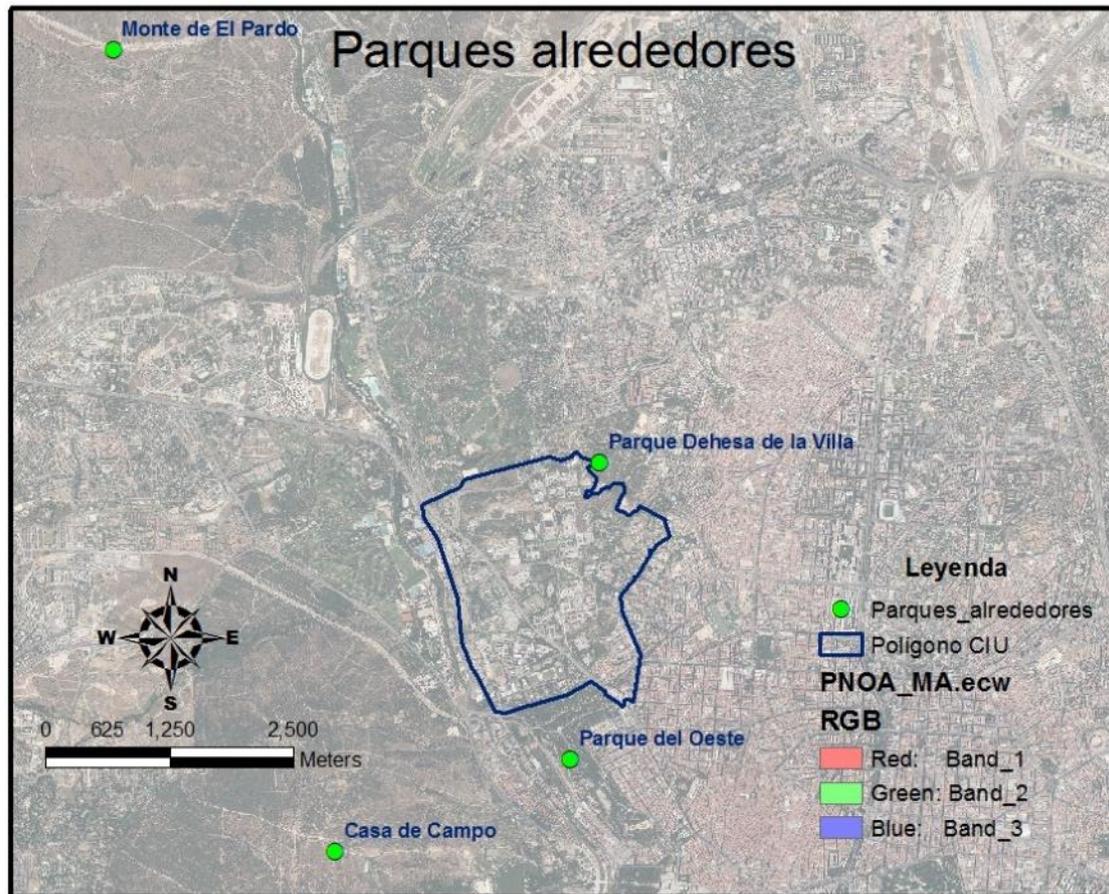


Figura 3. Representación del polígono que contiene el territorio estudiado y las zonas verdes que lo rodean sobre ortofotografía aérea de Madrid (PNOA, 2004).

Diseño del trabajo

Con el objetivo de facilitar la toma de medidas de radiación electromagnética, se generó a partir de la cuadrícula utilizada por el grupo de seguimiento de Fauna (Entomofauna), una capa de cuadrículas de 500 x 500 m sobre el polígono del campus de 4,305,169.34 m² (Figura 4). Únicamente se nombran (de la A la W) las cuadrículas que se encuentran dentro del territorio muestreado (Fig. 3).

Teniendo en cuenta la variabilidad en la existencia de sitios propicios para realizar mediciones en las distintas cuadrículas, se preparó una capa de “espacio medible” (Fig. 4), con la intención de generar puntos aleatorios en todo el polígono, obteniendo un número de puntos de medición proporcional al espacio disponible para realizar dichas mediciones en cada cuadrícula. Se excluyeron del espacio medible las carreteras, pistas deportivas, piscinas y otras construcciones que imposibilitaban la toma de datos en esos puntos. Con esa información se

generó una base de datos que contenía los datos de cada cuadrícula: área, área desechada (área no medible o exterior al polígono del Campus) y los puntos aleatorios de medición correspondientes (Tabla 1). Se numeraron dichos puntos (209 en total) (Fig. 4) y se preparó una plantilla para facilitar la toma de las mediciones en el campo.

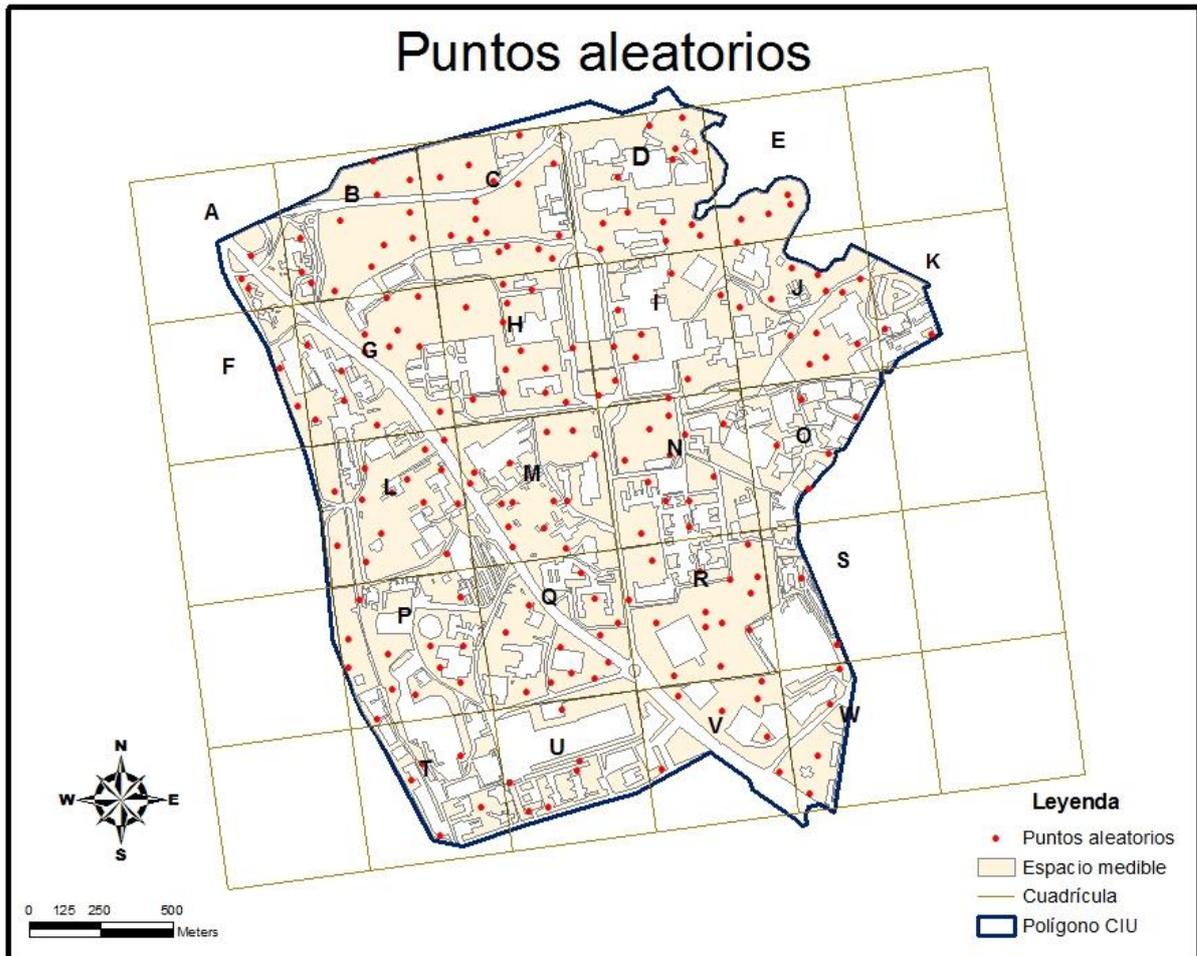


Figura 4. Representación del polígono del campus, de las distintas cuadrículas, de la capa "Espacio medible" y puntos aleatorios designados por cuadrícula.

CUADRÍCULA	ÁREA MEDIBLE	ÁREA DESECHADA	PUNTOS ALEATORIOS
A	33,356.65	216,643.35	3
B	163,191.87	86,808.13	13
C	195,630.45	54,369.55	16
D	164,230.20	85,769.80	13
E	60,815.92	189,184.08	5
F	26,760.81	223,239.19	2
G	159,713.56	90,286.44	13
H	159,091.22	90,908.78	13
I	124,819.42	125,180.58	10
J	151,346.45	98,653.55	12

K	26,194.26	223,805.74	2
L	175,360.69	74,639.31	14
M	168,762.05	81,237.95	14
N	149,489.50	100,510.50	12
O	66,354.37	183,645.63	5
P	145,740.76	104,259.24	12
Q	154,727.19	95,272.81	12
R	173,638.08	76,361.92	14
S	31,153.34	218,846.66	2
T	57,378.68	192,621.32	5
U	76,694.99	173,305.01	6
V	84,647.62	165,352.38	7
W	54,948.37	195,051.63	4
TOTAL	2,604,046.45	3,145,953.55	209

Tabla 1. Cálculo de puntos en cada cuadrícula designados proporcionalmente según su espacio medible. El número máximo de puntos que pueden ser asignados a cada cuadrícula es de 20. Las medidas de las áreas son en m².

Métodos aplicados para el trabajo con radiaciones electromagnéticas

Una vez en el campo, se utilizó un GPS GARMIN eTrex 10 (Figura 5) para fijar los puntos medidos y así aumentar la precisión en su localización exacta de cara a posteriores mediciones.

Se realizaron 3 series de mediciones en cada punto de muestreo para observar posibles variaciones estacionales o entre distintos meses del año. Se observó el grado de repetibilidad de las medidas de radiación utilizando el módulo “Variance Components & Mixed Model ANOVA” del programa STATISTICA (StatSoft, 2004), que analiza si las medidas son representativas y si representan adecuadamente la variación del rasgo. Ésta se obtuvo dividiendo el componente entre individuos por la suma de componentes entre individuos y dentro de individuos (error).

Se tomaron mediciones de los campos electromagnéticos de baja frecuencia que está comprendida dentro del rango 40-60Hz (procedente principalmente de transformadores y líneas eléctricas) con un Teslámetro TM 40 que percibe la intensidad de campo magnético de 0 a 1999 nT (Nanoteslas), resolución de 1 nT y margen de error <5% (Fig. 5). Se hicieron también mediciones de radiofrecuencias (procedentes principalmente de las estaciones base de telefonía móvil) en un rango comprendido entre 50 MHz y 3.5 GHz, en mV/m (intensidad de campo eléctrico) con un medidor PCE-EM 29 provisto de una sonda isotrópica y certificado de calibración, resolución de 0.1 mV/m y error absoluto de 71.0 dB (Fig. 5). De esta última radiación, se tomaron los valores medios, los máximos y los mínimos de los medios. En el estudio se utilizaron las medias de las tres mediciones, para cada dato analizado.

Las mediciones se llevaron a cabo durante el año 2015, en los meses de Enero y Febrero (1ª medición), Abril y Mayo (2ª medición) y Julio (3ª medición), de lunes a viernes, en un rango horario comprendido entre las 15:00 y las 19:30 para hacer más homogéneo el estudio. Se emplearon un total de 30 horas de campo para medir todos los puntos en cada serie de mediciones (unas 90 horas de campo para la realización del trabajo completo). Para la baja frecuencia, el medidor se disponía a una altura estándar de un metro sobre el suelo y la radiación de cada punto se estimaba elaborando una media de la existente en el lugar haciendo una rotación en el mismo eje y dirigiendo el aparato hacia todas las direcciones, para intentar percibir cualquier incidencia proveniente de cualquier dirección. Por otro lado, para las radiofrecuencias, se dispuso el aparato de la misma forma que en el caso anterior (a un metro del suelo), pero en este caso el medidor estaba paralelo al mismo, se dirigía inmóvil hacia al norte y se anotaban las medidas de valor máximo, valor máximo del valor medio y media en intervalos de 20 segundos (Fig. 5).



Figura 5. (Izda.): Aparatos utilizados para realizar las mediciones; de izquierda a derecha se muestran GPS GARMIN, medidor PCE-EM 29 provisto de sonda isotrópica y Teslámetro TM 40. (Dcha.): Realizando mediciones con medidor de radiofrecuencias PCE-EM 29. (Foto: José M. Caballero).

Además de conocer la latitud y longitud en cada punto se incorporaron los datos de cada una de las mediciones tomadas por punto y la media general de las tres mediciones realizadas en cada una de las variables analizadas (Anexo I). A partir de estos datos, se interpolaron distintos mapas TIN (interpolación triangular) de radiación electromagnética tanto de baja frecuencia como de las radiofrecuencias estudiadas.

En cuanto a las fuentes principales de radiación, con el fin de esclarecer la comprensión de la variación de radiación en los distintos puntos y las distintas zonas, se prestó especial atención a las antenas de telefonía móvil y a los tendidos eléctricos (localizándolos y

georreferenciándolos durante una semana – 20 horas de campo), principales productores de los dos tipos de radiación estudiadas (Figuras 6 y 7):



Figura 6. Fotografías de distintas estaciones base localizadas en el Campus de Moncloa. Como se puede observar en la primera imagen (izda.), las estaciones tienden a camuflarse en el entorno, ya que inciden directamente sobre los seres vivos de los alrededores. En la tercera imagen (dcha.), se observan unos chopos secos en la parte superior, posiblemente afectados por las antenas situadas justo en el edificio de enfrente (Balmori, 2004b) (Fotos: Alfonso Balmori-de la Puente).



Figura 7. Fotografías de algunos de los tendidos eléctricos situados en el interior del Campus de Moncloa. Como se puede observar en la fotografía central, se corresponden con líneas eléctricas de alta tensión. Los aislantes rojos descendentes en las dos primeras imágenes, probablemente bajen los conductores para que continúen su camino bajo tierra (Fotos: Alfonso Balmori-de la Puente).

- Generalmente una estación base estándar consta de tres antenas formando ángulos de 120° entre sí (Santini *et al.*, 2000; Hyland, 2000, 2001; Navarro *et al.*, 2003), abarcando de esta forma las tres direcciones del espacio (Figura 8), pero hay casos en los que se elabora un diagnóstico erróneo del número de antenas debido a que dentro de la misma estación base existen más de tres antenas. Para situar las estaciones base de telefonía que afectaban directamente al área de estudio se consultó la página web del Ministerio de Industria, Energía y Turismo-Secretaría de Estado de Telecomunicaciones y para la Sociedad de la Información, localizándose la mayor parte de ellas y desplazándose ligeramente aquellas cuya localización en la web no era del todo correcta (Figura 9).

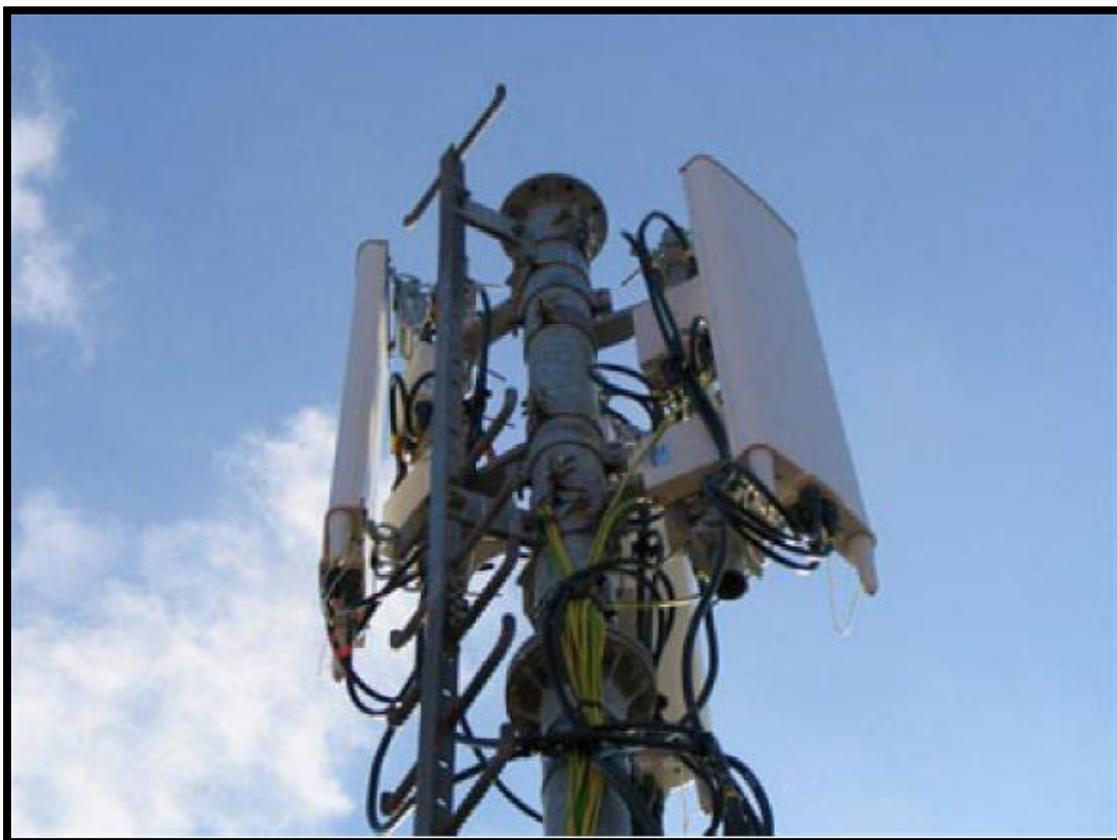


Figura 8. Primer plano de una estación base estándar de telefonía móvil (Fuente: César Balmori).

- Los tendidos evaluados son de alta tensión (>1kV) y forman parte de la red de distribución. Hay que tener en cuenta que la mayoría de ellos no acaban en el último apoyo existente, sino que continúan su recorrido bajo tierra (Fig. 7). Se representa únicamente la parte aérea de los tendidos que influye en el polígono de trabajo, por desconocimiento de la parte enterrada (Fig. 9).

Por último, se debe mencionar que se descartaron 13 puntos de muestreo (C1, C7/D1, D2, D3, D5/J1/L6, L7, L11, L12, L14/O2), por estar situados en zonas finalmente no accesibles, permaneciendo un total de 196 puntos (Fig. 9).

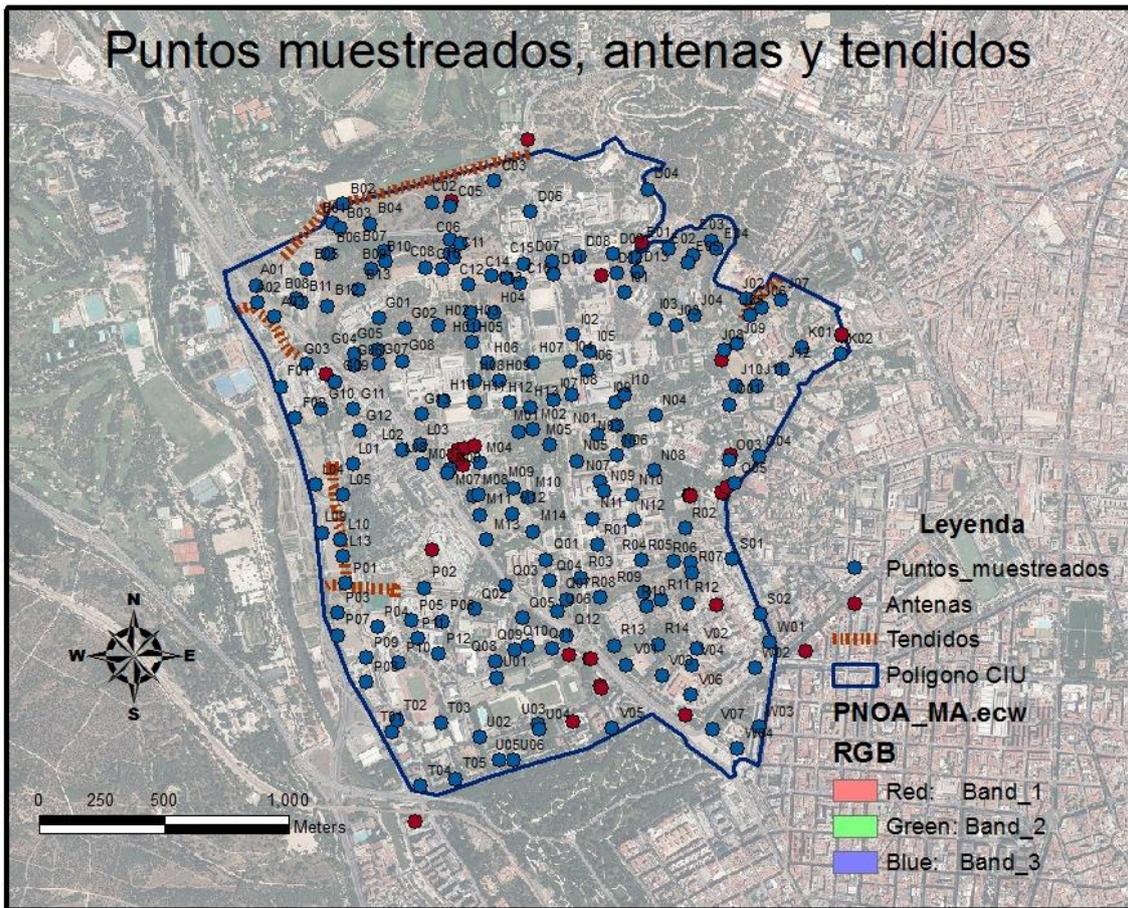


Figura 9. Representación de los puntos muestreados y de las antenas y tendidos eléctricos de la zona.

Para la realización de los distintos procedimientos de análisis geográficos, se utilizaron los softwares ArcGis 9.3 (ESRI, 2008) y Quantum GIS 2.6.0-Brighton (QGIS Development Team, 2014), indistintamente. Los mapas fueron creados a partir de ArcGis 9.3.

Métodos aplicados para el tratamiento de los datos de fauna (mariposas diurnas y aves)

1. Mariposas diurnas

Se generó una cuadrícula de 250 x 250 m (cada cuadrícula utilizada con anterioridad se dividió en 4 partes que se rotularon con las letras a, b, c y d), con el fin de obtener unas medidas medias de radiación de cada tipo por cuadrícula más exactas que las que se obtendrían manteniendo el tamaño original de la cuadrícula. Estas medidas se extrapolaron del mapa interpolado a partir de los datos de cada punto.

Se utilizaron los datos georreferenciados de avistamientos de mariposas dentro de la misma estación base comprendidos entre los años 2011-2015, recogidos por el Grupo de Seguimiento de Fauna UCM (Entomofauna) en sus muestreos semanales de mariposas diurnas

realizados dentro del Campus de Moncloa. Con el objetivo de trabajar con los datos de riqueza de mariposas por cuadrícula, para así poder establecer posibles correlaciones con los datos de radiación electromagnética, se proyectaron los datos de dichas observaciones sobre las cuadrículas de 250 x 250 m en ArcGis 9.3 y únicamente fueron seleccionadas para el estudio aquellas cuadrículas correctamente muestreadas.

Para conocer qué cuadrículas tenían un esfuerzo de muestreo que nos permitiese utilizarlas como información válida, se realizaron curvas de acumulación de especies para cada cuadrícula (Valverde y Hortal, 2003), tomando cada mariposa observada como una unidad de esfuerzo de muestreo independiente y considerando únicamente las cuadrículas con más de 40 observaciones, mínimo establecido para considerar un muestreo como exhaustivo.

Con el programa *EstimateSWin910* (Colwell, 2013) se estableció el suavizado de la curva para cada cuadrícula-riqueza media observada (número de especies promedio acumuladas) (Valverde y Hortal, 2003), teniendo en cuenta el número de especies observadas y la abundancia relativa de cada una, realizando una randomización de hasta 10000 veces en el orden de muestras.

Además, se calculó la curva estimada-riqueza potencial estimada mediante el estimador no paramétrico "*bias-corrected formula for Chao2*" o "*classic formula for Chao2*" cuando el software así lo sugiriese, basado en incidencias, en el que cada observación se corresponde con una unidad de esfuerzo muestral (Gotelli y Colwell, 2011).

Mediante la ecuación no-lineal de Clench (1979), cuya utilización está recomendada para protocolos en los que cuanto más tiempo se pasa en el campo, mayor es la posibilidad de aparición de nuevas especies al inventario hasta alcanzar una asíntota (Soberón y Llorente, 1993), se produjo el ajuste de la curva estimada en el programa STATISTICA (StatSoft, 2004) obteniendo los parámetros a y b de dicha curva, estableciendo 1000 como número máximo de iteraciones y siguiendo el procedimiento descrito por Valverde y Hortal (2003), pero aplicado a la curva estimada en este caso.

Dada la arbitrariedad de los límites que suelen establecer los investigadores para determinar si los muestreos han sido lo suficientemente exhaustivos, una vez obtenidos los parámetros de la curva necesarios para calcular las diferentes cualidades de la curva ajustada, se seleccionaron aquellas cuadrículas cuya curva tenía una pendiente <0.1 en su último punto y un esfuerzo realizado $>70\%$ (Valverde y Hortal, 2003). A partir de los valores de las asíntotas de las curvas ajustadas a las curvas estimadas, se obtuvieron todos los datos para la variable dependiente: riqueza potencial de mariposas.

2. Aves

Los métodos aplicados para el trabajo con aves, fueron similares a los aplicados en el caso de las mariposas diurnas.

Los datos fueron aportados por el investigador Álvaro Ramírez (com. pers.), profesor contratado doctor de la UCM, y consistían en una serie de transectos realizados en el entorno del campus de Moncloa, en los que habían sido tomados datos de riqueza y abundancia de especies. Al existir el mismo esfuerzo de muestreo en cada transecto, al contrario que en las cuadrículas de mariposas, se pudieron calcular estimas de densidad (n° aves/10 hectáreas) además de la riqueza de especies por transecto.

Los transectos son de un ancho de banda fijo, de 25 metros a cada lado de la línea de progresión y sólo se contaron las aves que estaban dentro de dicha banda. Cada transecto tiene una longitud de 500 metros por lo que la superficie muestreada ascendía a un total de $25,000 \text{ m}^2$ (2.5 ha).

Se estableció por tanto un buffer de 25 metros alrededor de cada transecto mediante los softwares GIS anteriormente mencionados, cortado al inicio y al final del mismo, obteniendo un polígono que se ajustaba al área muestreada. Se asignó el número de buffer correspondiente a cada transecto.

La riqueza por transecto fue estimada de la misma forma utilizada para el caso de las mariposas, escogiendo los transectos correspondientes para continuar con los análisis, al cumplir sus curvas ajustadas sobre las curvas potenciales, las condiciones de ajuste seleccionadas.

Para establecer posibles correlaciones con los datos de ambos tipos de radiación electromagnética, se extrapolaron los datos de radiación en cada buffer a partir del mapa interpolado con los datos de medición en cada punto.

3. Interacción mariposas diurnas y aves

Con el fin de determinar si existían correlaciones entre los dos grupos de estudio en sus zonas muestreadas, se asociaron los datos de los buffers de los transectos de aves a las cuadrículas muestreadas con datos de mariposas, si al menos la mitad del área del buffer de cada uno discurría por una de las cuadrículas muestreadas. De esta forma teníamos un 20% de la cuadrícula ocupado por el buffer, dado que el total del área de un buffer $25,000 \text{ m}^2$ se correspondía con un 40% del área de cada cuadrícula ($62,500 \text{ m}^2$).

Variables consideradas

A la hora de categorizar las zonas de muestreo tanto para mariposas como para aves, se describieron nuevas variables ambientales (además de la radiación electromagnética), que podían influir en la presencia de estas especies y se mantuviesen constantes a lo largo del año. A continuación, se enumeran todas las variables finalmente utilizadas en el estudio.

- Variables dependientes:
 - Riqueza de mariposas: especies por cuadrícula muestreada (variable continua).
 - Riqueza de aves: especies por transecto muestreado (variable continua).
 - Densidad de aves: nº de aves/ 10 ha (variable continua).
- Variables independientes:
 - Radiación media: valor de radiación media por cuadrícula/buffer medido en mV/m (variable continua).
 - Radiación máxima de la media: valor de radiación máxima de la media por cuadrícula/buffer medido en mV/m (variable continua).
 - Radiación máxima: valor de radiación máxima por cuadrícula/buffer medido en mV/m (variable continua).
 - Baja Frecuencia: valor de baja frecuencia por cuadrícula/buffer medido en nanoTeslas (nT) (variable continua).
 - Número de antenas: contabilizadas por cuadrícula de mariposas y buffer en transecto de aves (variable continua).
 - Distancia a antena más próxima: calculada desde el centroide de la cuadrícula/buffer en metros (variable continua).
 - Baja>25: Presencia en cuadrícula/buffer de baja frecuencia>25 (variable categórica).
 - Vmáx>300: Presencia en cuadrícula/buffer de valores máximos>300 (variable categórica).
 - Variación radiación (Vmáx-Vmed): Diferencia entre la radiación máxima y la media de cada buffer/transecto (variable continua).
 - Área no construida: Cantidad de espacio no construido en cada cuadrícula/buffer dado en m² (variable continua).
 - Área arbolada: Cantidad de espacio arbolado en cada cuadrícula/buffer en m² (variable continua).
 - Latitud: Calculada de la forma $(Y_{min}+Y_{máx})/2$ y medida en metros (variable continua).

- Longitud: Calculada de la forma $(X_{\min}+X_{\max})/2$ y medida en metros (variable continua).
- “Latitud x Longitud”, “Latitud x Latitud x Longitud” y “Latitud x Longitud x Longitud”, correspondientes al polinomio espacial de tercer grado, para descartar cualquier relación con la localización geográfica (variables continuas).

Las distintas variables fueron calculadas con ayuda de los software GIS utilizados previamente (ArcGis 9.3 y QGIS 2.6.0-Brighton) y la ortofotografía aérea del Campus (PNOA, 2004).

Tratamiento estadístico

Los análisis estadísticos fueron realizados en el programa Statistica (StatSoft, 2004). Previamente a la realización de los análisis, todas las variables continuas fueron estandarizadas para poder ser comparadas entre sí, adquiriendo las propiedades de $\mu=0$ y $\sigma=1$. Para las coordenadas geográficas, la estandarización se realizó según la recomendación de Legendre y Legendre (1998), es decir, restando los valores correspondientes medios de latitud y longitud en cada caso.

Para explorar las múltiples relaciones entre las distintas variables dependientes y las independientes explicadas anteriormente, se utilizaron modelos generales lineales (McCullagh y Nelder, 1989; Crawley, 1993). En estos modelos, la variable dependiente está linealmente o no linealmente relacionada con múltiples variables independientes gracias a una función de transformación “link function”. Además, se exploraron las relaciones curvilineales entre las variables dependientes y las independientes estadísticamente significativas determinando si era la función lineal, cuadrática o cúbica la que mejor explicaba el modelo. En todo caso resultó la función lineal la más representativa.

La bondad de ajuste de los modelos obtenidos fue medida con el estadístico de la desviación, comparándose a través de tests de la F si las distintas funciones obtenidas representaban un cambio significativo en dicho estadístico respecto del modelo nulo o completo en el que el número de parámetros es igual al número total de observaciones (McCullagh y Nelder, 1989; Dobson, 1999). El porcentaje de desviación explicada también fue calculada para cada variable (ver Dobson, 1999).

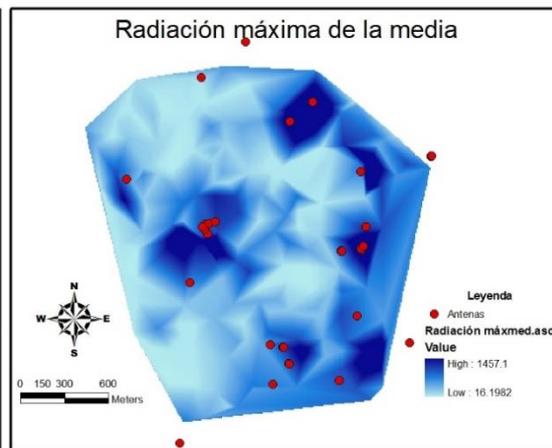
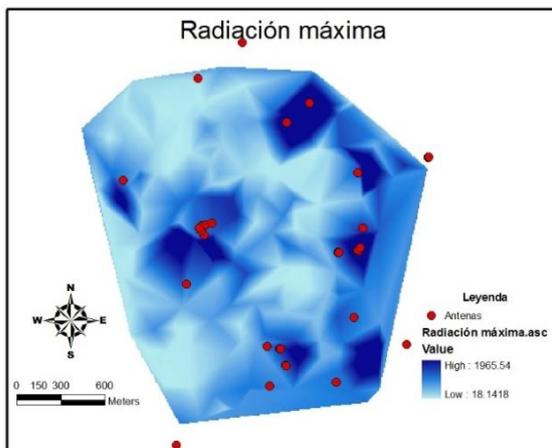
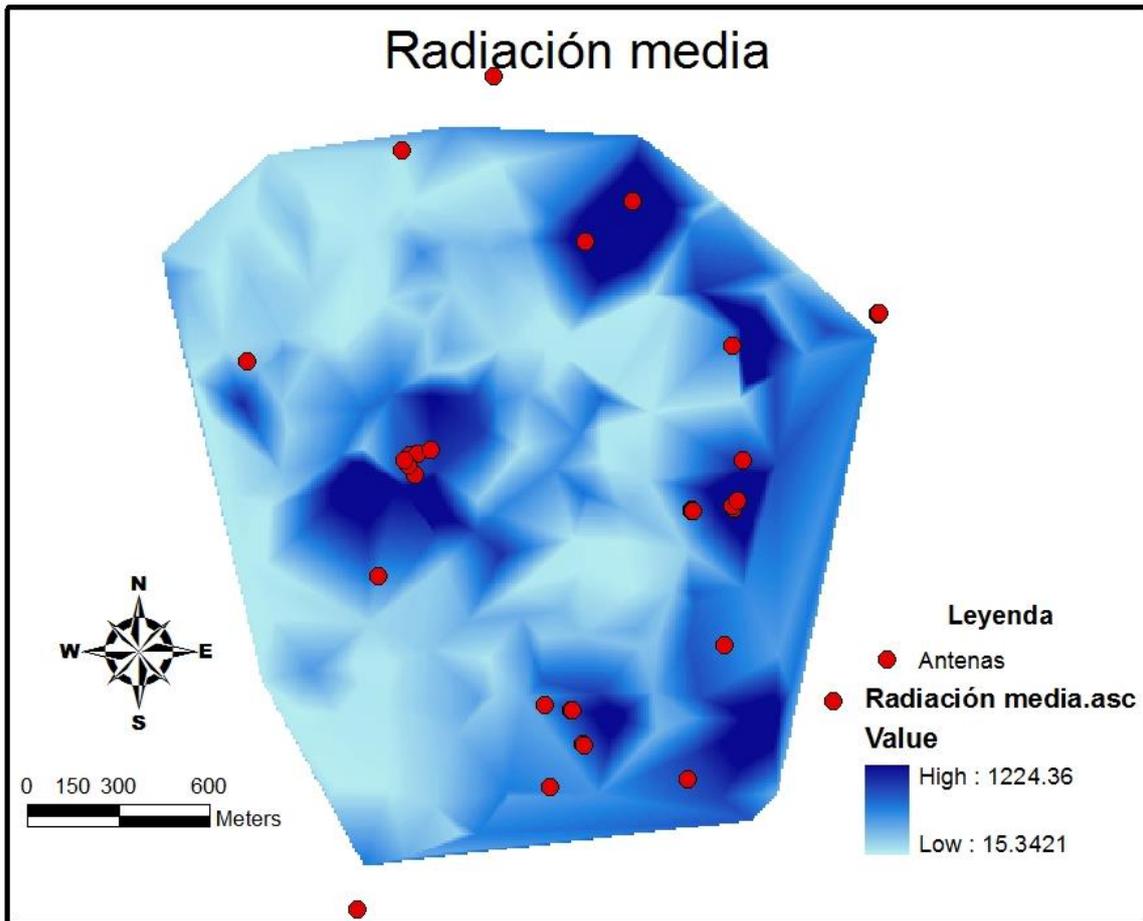
RESULTADOS

Radiación electromagnética

En la Figura 10, se representan los mapas resultantes interpolados a partir de las medias de las tres mediciones realizadas para las distintas medidas de radiación tomadas en los distintos puntos (nótese que los tres mapas de radiofrecuencias son prácticamente iguales). Estos mapas fueron los utilizados para los posteriores análisis ya que los análisis de repetibilidad resultaron significativos (la varianza entre mediciones de distintos puntos es mayor que en las tres series realizadas del mismo punto) (Tabla 2).

Components of Variance (Mediciones) Mean Squares Type: 1							
	Radiación media		Radiación máxima		Radiación máxima de la media		Baja frecuencia
{1}NAME	58254.83		132347.2		81443.82		3728.143
Error	8550.77		20077.6		11532.97		1839.578
ANOVA Results: Radiación media (Mediciones)							
	Effect	df	MS	df	MS	F	p
{1}NAME	Random	195	183315.3	392	8550.767	21.43846	0.00
ANOVA Results: Radiación máxima (Mediciones)							
	Effect	df	MS	df	MS	F	p
{1}NAME	Random	195	417119.1	392	20077.56	20.77538	0.00
ANOVA Results: Radiación máxima de la media (Mediciones)							
	Effect	df	MS	df	MS	F	p
{1}NAME	Random	195	255864.4	392	11532.97	22.18548	0.00
ANOVA Results: Baja frecuencia (Mediciones)							
	Effect	df	MS	df	MS	F	p
{1}NAME	Random	195	13024.01	392	1839.578	7.079888	0.00

Tabla 2. Análisis de repetibilidad realizados. En la tabla se observa que el componente entre individuos es mayor que el componente error (primer análisis). También se representan los resultados significativos para los ANOVAs de cada tipo de radiación analizada.



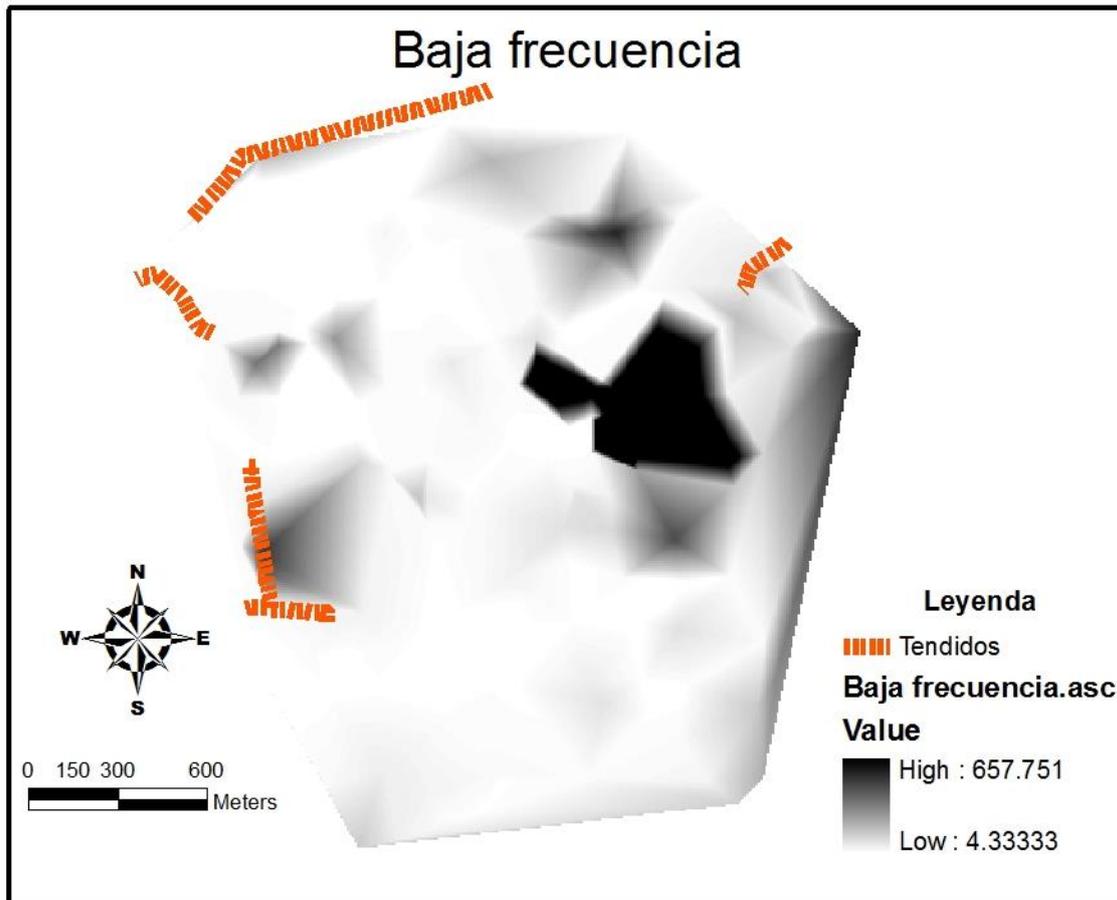


Figura 10. Mapas de radiación electromagnética media de radiofrecuencias (tres primeros mapas) y de baja frecuencia (abajo) del Campus de Moncloa. Se observa que los colores oscuros representan zonas con mayores intensidades de radiación. Además se dibujan las antenas o los tendidos eléctricos, según el tipo de radiación evaluada en cada caso. Nótese que no se representan los mapas de cada una de las 3 rondas de mediciones.

Fauna (mariposas diurnas y aves)

Para evaluar la posible afección de las distintas variables estudiadas sobre la riqueza de mariposas, únicamente se seleccionaron aquellas cuadrículas que se encontraban bien muestreadas y que contaban con un número mínimo de observaciones realizadas. Sin embargo, la cuadrícula F_d que cumplía con los requisitos anteriormente mencionados, fue eliminada debido a que la función de Clench no se ajustaba correctamente a la función de riqueza potencial estimada. Finalmente, las cuadrículas seleccionadas fueron las siguientes: B_c, B_d, C_c, C_d, D_c, D_d, G_b, H_a, H_b, H_c, H_d, I_a, I_d, M_b, M_c, N_a, N_b, N_c, N_d (Tabla 3, Figura 11).

En el caso de los buffers de aves, todos los que discurrían por zonas muestreadas con datos de radiación, eran lo suficientemente exhaustivos para trabajar con ellos (Tabla 3, Figura

11). Los transectos 2, 3, 4 y 20 (y por tanto buffers 2, 3, 4 y 20) fueron eliminados por discurrir por zonas sin datos de radiación electromagnética.

Las cuadrículas y los transectos desechados no son representados.

Cuadrícula	Criterio	Valor	Transecto/Buffer	Criterio	Valor
B_c	Pendiente	0.06	1	Pendiente	0.05
	%Esf.real.	84.00%		%Esf.real.	87.98%
B_d	Pendiente	<0.01	5	Pendiente	0.06
	%Esf.real.	94.73%		%Esf.real.	84.12%
C_c	Pendiente	<0.01	6	Pendiente	0.05
	%Esf.real.	95.70%		%Esf.real.	83.95%
C_d	Pendiente	<0.01	7	Pendiente	0.08
	%Esf.real.	94.71%		%Esf.real.	81.97%
D_c	Pendiente	<0.01	8	Pendiente	0.03
	%Esf.real.	94.90%		%Esf.real.	88.19%
D_d	Pendiente	0.04	9	Pendiente	0.02
	%Esf.real.	87.42%		%Esf.real.	84.34%
G_b	Pendiente	0.01	10	Pendiente	0.05
	%Esf.real.	92.78%		%Esf.real.	78.76%
H_a	Pendiente	0.08	11	Pendiente	0.01
	%Esf.real.	75.23%		%Esf.real.	92.10%
H_b	Pendiente	0.03	12	Pendiente	0.03
	%Esf.real.	87.37%		%Esf.real.	87.77%
H_c	Pendiente	0.01	13	Pendiente	0.03
	%Esf.real.	93.36%		%Esf.real.	73.01%
H_d	Pendiente	0.04	14	Pendiente	0.02
	%Esf.real.	76.13%		%Esf.real.	92.00%
I_a	Pendiente	0.05	15	Pendiente	0.02
	%Esf.real.	83.40%		%Esf.real.	90.44%
I_d	Pendiente	0.02	16	Pendiente	0.06
	%Esf.real.	89.69%		%Esf.real.	80.92%
M_b	Pendiente	0.03	17	Pendiente	0.01
	%Esf.real.	89.37%		%Esf.real.	91.71%
M_c	Pendiente	0.03	18	Pendiente	0.02
	%Esf.real.	85.00%		%Esf.real.	76.92%
N_a	Pendiente	<0.01	19	Pendiente	0.04
	%Esf.real.	93.98%		%Esf.real.	85.43%
N_b	Pendiente	0.05			
	%Esf.real.	79.23%			
N_c	Pendiente	0.02			
	%Esf.real.	91.09%			
N_d	Pendiente	0.04			
	%Esf.real.	81.78%			

Tabla 3. Datos obtenidos para las cuadrículas (izda.) y transectos (dcha.) con un muestreo suficientemente exhaustivo, a partir de las curvas de acumulación de especies. Se tuvieron en cuenta los criterios de pendiente <0.1 y esfuerzo realizado >70%.

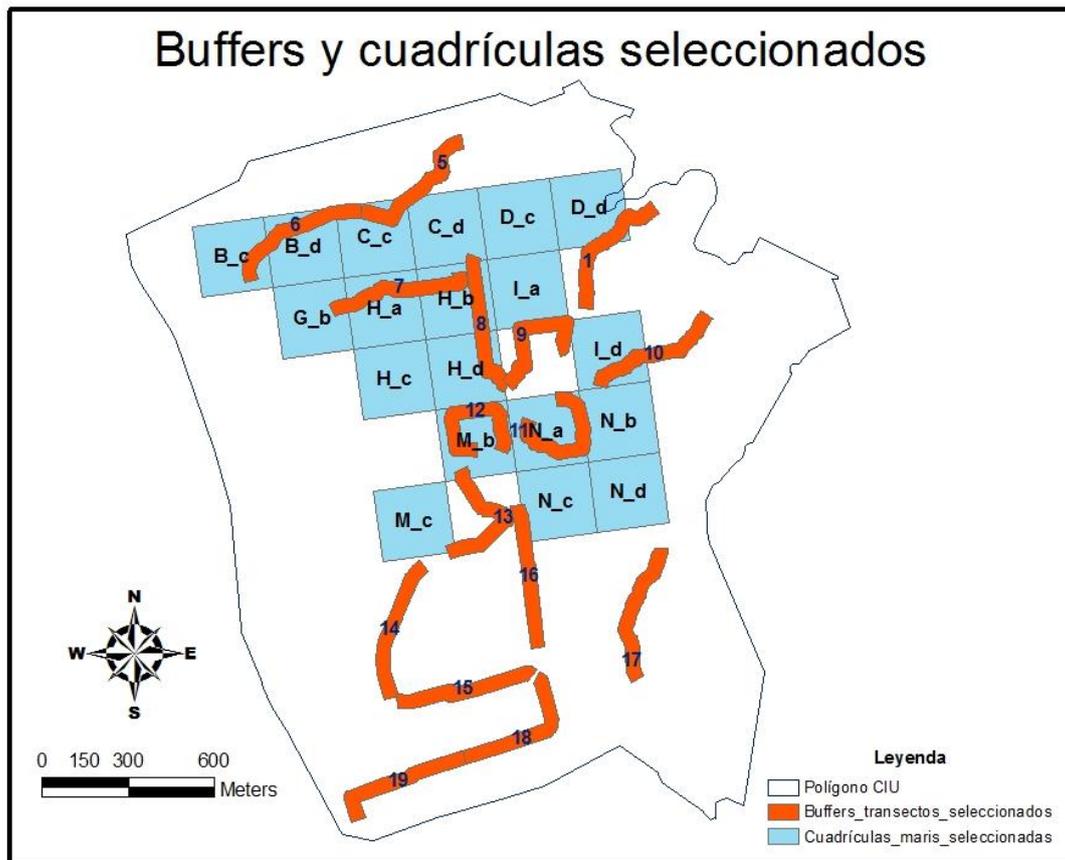


Figura 11. Cuadrículas seleccionadas de mariposas junto con los buffers seleccionados de aves para continuar el estudio.

1. Mariposas diurnas

A la hora de caracterizar las distintas cuadrículas de mariposas diurnas y buscar posibles correlaciones entre distintas propiedades de las cuadrículas y la riqueza de mariposas, se plasmaron en cada una, los datos de radiación de los distintos mapas. Además, se incorporaron el resto de variables descritas en la metodología, para incrementar el conocimiento de las cuadrículas de estudio (Tabla 4).

Cuadrícula	Longitud	Latitud	Riqueza mariposas	Radiación media	Radiación máxima	Radiación máxima de la media	Baja frecuencia	NºAntenas/cuadrícula	Distancia antpróx	Vmáx>300	Baja>25	Variación (Máx-Med)	Área arbolado	Área no construido
B_c	437305.90	4478249.90	29.46	58.94	121.23	89.42	4.68	0	337.00	NO	NO	62.28	21344.43	45251.00
B_d	437553.61	4478283.62	30.99	58.95	70.08	64.84	4.52	0	423.35	NO	NO	11.13	34063.59	49697.16
C_c	437801.33	4478317.34	29.44	72.84	91.06	79.12	5.07	0	298.47	NO	NO	18.23	25863.23	52517.29
C_d	438049.04	4478351.06	31.01	102.69	177.19	125.90	7.78	0	328.59	NO	NO	74.51	11221.60	47080.98
D_c	438296.76	4478384.78	29.19	256.36	395.74	302.47	20.99	0	173.09	SI	NO	139.38	11334.18	38674.49
D_d	438544.47	4478418.50	29.69	766.88	1167.96	915.07	45.59	2	71.22	SI	SI	401.08	12576.33	48840.46
G_b	437587.33	4478035.91	35.93	62.05	108.77	73.50	15.52	0	270.66	NO	NO	46.72	29130.39	55634.34
H_a	437835.05	4478069.63	46.00	94.65	130.75	106.96	7.50	0	459.76	NO	NO	36.10	40902.02	52009.86
H_b	438082.76	4478103.35	26.66	101.17	151.02	125.68	4.93	0	424.11	NO	NO	49.85	12635.94	29253.25
H_c	437868.77	4477821.91	31.03	333.78	447.83	374.34	7.28	0	212.79	SI	NO	114.05	12944.42	33591.11
H_d	438116.48	4477855.63	56.44	242.57	341.85	268.79	7.60	0	289.08	SI	NO	99.29	18437.72	44169.53
I_a	438330.48	4478137.07	17.17	172.48	289.91	216.34	13.67	0	212.13	NO	NO	117.43	9981.13	15716.41
I_d	438611.91	4477923.07	20.39	52.41	73.20	58.16	90.85	0	326.35	NO	SI	20.79	17658.69	31836.39
M_b	438150.20	4477607.92	19.09	262.26	400.57	299.06	5.68	0	206.06	SI	NO	138.30	40862.23	50873.52
M_c	437936.21	4477326.48	24.58	419.67	634.93	491.80	7.96	0	205.74	SI	NO	215.27	10858.93	42537.64
N_a	438397.92	4477641.64	35.33	191.04	269.20	222.58	24.63	0	453.59	NO	NO	78.16	9833.60	49116.99
N_b	438645.63	4477675.36	44.12	83.08	124.72	98.66	314.98	0	296.13	NO	SI	41.64	21878.78	30491.17
N_c	438431.64	4477393.92	26.37	136.99	217.18	163.03	14.18	0	371.12	NO	NO	80.19	5193.30	32813.79
N_d	438679.35	4477427.64	39.98	138.28	270.77	176.82	52.98	3	122.28	NO	SI	132.49	22864.17	36983.35

Tabla 4. Datos de cada variable descrita por cuadrícula. Diferenciamos la variable dependiente "Riqueza mariposas" del resto de variables utilizadas para observar si depende de alguna de estas.

2. Aves

En el caso de las aves, en lugar de caracterizar las cuadrículas como se hizo con las mariposas diurnas, se definieron las distintas variables en cada buffer realizado a lo largo del transecto, que se corresponde con el área determinada por su riqueza y su densidad de especies. De este modo la extrapolación de los datos de radiación fue realizada en cada buffer, al igual que el cálculo del resto de variables (Tabla 5).

Buffer	Longitud	Latitud	Riqueza aves	Densidad aves	Radiación media	Radiación máxima	Radiación máxima de la media	Baja frecuencia	N°antenas/buffer	Distancia antpróx	Vmáx>300	Baja>25	Variación (Máx-Med)	Área arbolado	Área no construida
1	438644.90	4478257.62	20.41	182.66	682.91	1091.30	829.57	53.83	0	156.97	SI	SI	408.38	10265.80	24728.53
5	437928.69	4478518.54	20.62	180.33	77.10	100.84	85.74	10.94	0	148.09	NO	NO	23.74	16186.31	22470.64
6	437545.58	4478300.05	24.07	265.99	59.23	76.16	66.02	4.61	0	432.17	NO	NO	16.93	20985.94	25522.42
7	437879.81	4478120.14	38.48	272.76	71.39	98.70	83.07	6.46	0	484.24	NO	NO	27.31	17947.85	21053.55
8	438189.49	4478021.87	18.45	250.68	118.98	184.65	152.91	5.32	0	407.91	NO	NO	65.68	8393.76	15860.90
9	438366.86	4477915.10	17.54	409.46	60.69	89.91	72.38	37.42	0	373.05	NO	SI	29.22	8481.15	17626.64
10	438764.26	4477927.43	31.44	451.10	166.03	287.24	195.60	151.66	0	173.24	NO	SI	121.21	17469.15	19779.77
11	438424.87	4477661.50	22.58	454.22	149.19	201.01	171.70	63.12	0	415.93	NO	SI	51.83	5727.75	21723.99
12	438158.73	4477648.13	18.58	303.96	292.02	443.64	330.07	5.95	0	209.98	SI	NO	151.62	22371.77	24036.54
13	438164.84	4477356.61	29.99	708.65	304.19	429.83	346.49	7.82	0	338.65	SI	NO	125.64	11009.15	17032.12
14	437893.97	4476947.96	19.11	370.78	72.60	180.07	109.33	5.38	0	271.95	NO	NO	107.47	7887.36	14575.69
15	438118.74	4476746.62	15.80	323.41	155.89	230.34	182.04	5.20	1	209.83	NO	NO	74.44	7994.36	14467.06
16	438330.38	4477134.93	24.13	245.73	142.48	218.19	166.72	8.75	0	359.50	NO	NO	75.71	8461.40	14539.07
17	438730.72	4476997.41	17.92	381.33	173.85	250.81	204.06	9.54	0	199.14	NO	NO	76.96	13215.28	24855.97
18	438270.00	4476639.22	27.15	770.24	296.24	464.39	358.16	6.76	0	99.92	SI	NO	168.14	11716.59	15349.36
19	437904.50	4476400.08	21.42	300.32	152.44	314.51	185.22	13.99	0	358.84	SI	NO	162.07	6617.57	9934.99

Tabla 5. Datos de cada variable descrita por buffer. Diferenciamos las variables dependientes "Riqueza aves" y "Densidad aves" del resto de variables utilizadas para observar si dependen de alguna de estas.

3. Interacción mariposas diurnas y aves

Por último y con el fin de analizar la posible existencia de alguna interacción entre los dos grupos de especies estudiadas, se vincularon los datos de aquellas cuadrículas y buffers en las que los últimos ocupaban al menos un 20 % de su área total (Tabla 6).

Cuadrícula	Buffer	Riqueza mariposas	Riqueza aves	Densidad aves
B_d	6	30.99	24.07	265.99
H_a	7	46.00	38.48	272.76
H_b	8	26.66	18.45	250.68
M_b	12	19.09	18.58	303.96
N_a	11	35.33	22.58	454.22

Tabla 6. Datos de las tres variables dependientes analizadas "Riqueza mariposas", "Riqueza aves" y "Densidad aves" y su cuadrícula/buffer correspondiente.

Análisis estadísticos

1. Mariposas diurnas

Se propusieron 4 niveles de significación y las Fs correspondientes (Tabla 7) a una muestra Df (1,18), con el objetivo de poder comparar los distintos efectos obtenidos de cada variable independiente sobre la dependiente (riqueza de mariposas). De esta forma se determinaron los distintos niveles de significación: $p < 0.1$ (i) – marginalmente significativo, $p < 0.05$ (*) - significativo, $p < 0.01$ (**) – muy significativo y $p < 0.001$ (***) – altamente significativo. Una vez comparadas las distintas variables independientes con la variable dependiente, no se observaron relaciones significativas (Tabla 8).

F	p	
3.01	0.1	!
4.41	0.05	*
8.29	0.01	**
15.38	0.001	***

V. dependiente	V. independiente	Df	Stat.GF	F	p
Riqueza mariposas	Modelo Nulo	18	18.00	0.00	0.00
	Radiación media	17	17.82	0.18	ns
	Radiación máxima	17	17.75	0.24	ns
	Radiación máxima de la media	17	17.77	0.22	ns
	Baja frecuencia	17	16.85	1.16	ns
	Área arbolado	17	17.07	0.93	ns
	Área no construido	17	16.35	1.72	ns
	Nº Antenas/cuadrícula	17	17.61	0.37	ns
	Distancia a antena próxima	17	17.44	0.55	ns
	Variación (Máx-Med)	17	17.59	0.39	ns
	Vmáx>300	17	18.00	0.00	ns
	Baja>25	17	17.82	0.17	ns
	Latitud	17	17.90	0.09	ns
	Longitud	17	17.99	0.01	ns
	Latitud*longitud	17	17.04	0.96	ns
	Latitud*latitud*longitud	17	17.52	0.46	ns
	Latitud*longitud*longitud	17	17.27	0.72	ns

Tabla 7. Distintas Fs para cada nivel de significación (izda.). Tabla 8. Resultados de las relaciones entre las variables independientes y la riqueza de mariposas; obsérvese que en la primera fila se representa el modelo nulo (dcha.).

2. Aves

En el caso de las aves, se propusieron 4 niveles de significación y las Fs correspondientes (Tabla 9) para una muestra Df (1,15). Se determinaron los mismos niveles establecidos en el caso anterior con el fin de poder comparar las distintas variables independientes con las dos variables dependientes analizadas en este grupo (riqueza, Tabla 10 y densidad de aves, Tabla 11). Se observa que la relación entre latitud y densidad de aves es marginalmente significativa ($p < 0.01$).

F	p	
3.07	0.1	!
4.54	0.05	*
8.68	0.01	**
16.59	0.001	***

V. dependiente	V. independiente	Df	Stat.GF	F	p
Riqueza aves	Modelo Nulo	15	15.00	0.00	0.00
	Radiación media	14	14.98	0.02	ns
	Radiación máxima	14	14.95	0.04	ns
	Radiación máxima de la media	14	14.96	0.04	ns
	Baja frecuencia	14	14.00	1.00	ns
	Área arbolado	14	13.13	1.99	ns
	Área no construido	14	14.96	0.03	ns
	Nº Antenas/buffer	14	13.52	1.53	ns
	Distancia a antena próxima	14	14.02	0.98	ns
	Variación (Máx-Med)	14	14.90	0.09	ns
	Vmáx>300	14	14.95	0.05	ns
	Baja>25	14	15.00	0.00	ns
	Latitud	14	14.48	0.50	ns
	Longitud	14	14.91	0.09	ns
	Latitud*longitud	14	14.75	0.24	ns
	Latitud*latitud*longitud	14	14.98	0.02	ns
	Latitud*longitud*longitud	14	13.72	1.30	ns

Tabla 9. Distintas Fs para cada nivel de significación (izda.). Tabla 10. Resultados de las relaciones entre las variables independientes y la riqueza de aves; obsérvese que en la primera fila se representa el modelo nulo (dcha.).

La relación marginalmente significativa entre la latitud y la densidad de aves explica un 19.15% de la varianza total de esta densidad y constituye una relación inversa, es decir, a medida que aumenta la latitud disminuye la densidad de aves de los transectos muestreados (Figura 12).

V. dependiente	V. independiente	Df	Stat.GF	F	p (R ² y relación)
Densidad aves	Modelo Nulo	15	15.00	0.00	0.00
	Radiación media	14	14.87	0.12	ns
	Radiación máxima	14	14.94	0.06	ns
	Radiación máxima de la media	14	14.90	0.09	ns
	Baja frecuencia	14	14.87	0.13	ns
	Área arbolado	14	14.70	0.29	ns
	Área no construido	14	14.03	0.96	ns
	Nº Antenas/buffer	14	14.93	0.07	ns
	Distancia a antena próxima	14	14.47	0.51	ns
	Variación (Máx-Med)	14	15.00	0.00	ns
	Vmáx>300	14	13.08	2.05	ns
	Baja>25	14	14.99	0.01	ns
	Latitud	14	12.13	3.32	! (19.15% -)
	Longitud	14	14.37	0.61	ns
	Latitud*longitud	14	14.91	0.08	ns
	Latitud*latitud*longitud	14	13.97	1.03	ns
	Latitud*longitud*longitud	14	14.19	0.80	ns

Tabla 11. Resultados de las relaciones entre las variables independientes y la densidad de aves; obsérvese que en la primera fila se representa el modelo nulo.

3. Interacción mariposas diurnas y aves

Para conocer si existen relaciones entre la riqueza de mariposas y la riqueza y/o densidad de aves se determinaron los 4 niveles de significación y las Fs correspondientes (Tabla 12) para una muestra Df (1,4). Se escogió como variable dependiente la riqueza de mariposas (los resultados no cambian si se coge la riqueza de aves) y se observó una relación significativa ($p < 0.05$) entre dicha riqueza y la de aves (Tabla 13).

F	p	
4.54	0.1	!
7.71	0.05	*
21.20	0.01	**
74.14	0.001	***

V. dependiente	V. independiente	Df	Stat.GF	F	p (R ² y relación)
	Modelo Nulo	4.00	4.00	0.00	0.00
Riqueza mariposas	Riqueza aves	3.00	0.74	13.32	* (81.62% +)
	Densidad aves	3.00	3.94	0.04	ns

Tabla 12. Distintas Fs para cada nivel de significación (izda). Tabla 13. Resultados de las relaciones entre las 2 variables independientes y la riqueza de mariposas; obsérvese que en la primera fila se representa el modelo nulo (dcha).

La relación significativa entre la riqueza de aves y riqueza de mariposas explica un 81.62% de la varianza total de la última y constituye una relación directa, es decir, a medida que aumenta la riqueza de mariposas experimenta el mismo cambio la riqueza de aves (Figura 13).

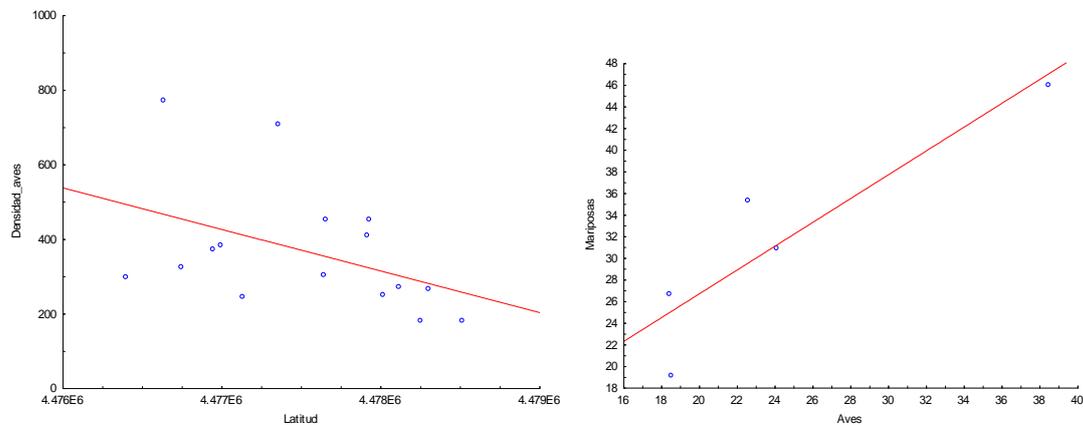


Figura 12. Representación de la relación marginalmente significativa inversa entre la latitud y la densidad de aves (izda.). Figura 13. Representación de la relación significativa directa entre la riqueza de aves y la riqueza de mariposas (dcha.).

DISCUSIÓN

Radiación electromagnética

En este trabajo se han obtenido los mapas de radiación del Campus de Moncloa para las radiaciones electromagnéticas de radiofrecuencias y también para las de baja frecuencia. La finalidad de estos mapas ha sido intentar evaluar los posibles efectos de las radiaciones electromagnéticas sobre la biodiversidad circundante, concretamente las mariposas y las aves, cuestión abordada y constatada en trabajos previos (Balmori, 2005; Favre, 2011; Cammaerts *et al.*, 2012; Vaitkuvienė y Dagys, 2014).

Gracias a los análisis de repetibilidad se ha podido constatar que la varianza dentro de cada punto medido es menor que entre puntos. Por tanto, las mediciones por puntos son representativas de cada lugar, representan adecuadamente la variación del rasgo y los mapas obtenidos pueden resultar útiles en estudios ulteriores. Por otro lado, se puede concluir que la intensidad de campo electromagnético no varía a lo largo del año, para ninguna de las radiaciones estudiadas.

En el caso de las radiofrecuencias, en los mapas de la Fig. 10 existe una vinculación espacial entre los puntos dónde se encuentran las estaciones base de telefonía y las zonas con mayor intensidad de radiación, debido a que estas son las fuentes más importantes de este tipo de emisiones en entornos urbanizados (Bürgi *et al.*, 2014). Para conocer la distribución de la radiación en las diferentes zonas es necesario tener en cuenta una serie de propiedades de las emisiones así como las características del terreno sobre el que están incidiendo las ondas.

La antena de telefonía de una estación base, produce una emisión direccional en forma de lóbulo principal, acompañado de varios lóbulos secundarios de menor potencia, dirigidos hacia los lados y la parte de atrás en las proximidades de la antena (Balmori, 2004a). En una determinada dirección, la intensidad de campo eléctrico en un punto varía de forma inversamente proporcional al cuadrado de la distancia a la fuente emisora y el área con mayor intensidad de campo eléctrico depende de la altura a la que se encuentre la antena y de su grado de inclinación (Balmori, 2006) (véase Figura 14).

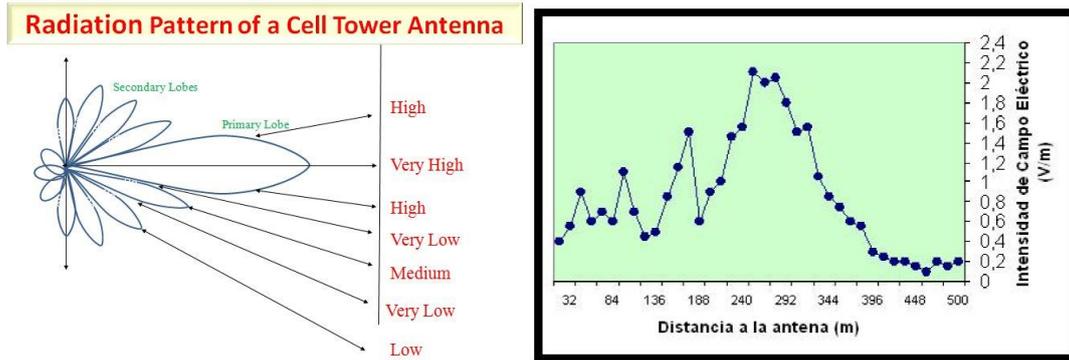


Figura 14. Lóbulos formados durante la radiación emitida por una antena de telefonía (izada.). Fuente: <http://neha-wilcom.blogspot.com.es/2011/05/radiation-pattern-of-cell-tower-antenna.html>. Variación de la intensidad de campo eléctrico al alejarse de una estación base de telefonía situada a unos 24 m de altura (dcha.). Obsérvese que la mayor incidencia de radiación se produce a distancias comprendidas entre los 50 y los 300 m y que las variaciones de los niveles se acentúan en las proximidades de la antena. Fuente: Balmori, 2006.

Por otro lado, la distribución de las ondas sobre el terreno se asemeja a la de la radiación solar en las zonas de solana y umbría y en los valles y montañas; las áreas con mayor radiación serán las situadas en los lugares más expuestos (los más elevados y con visión directa hacia las antenas) y las áreas con menor radiación corresponden a las zonas más bajas, en puntos más hundidos del terreno, y menos expuestas (sin visión directa hacia las antenas). Pero no toda la distribución puede explicarse por la orografía del terreno, otros factores como los edificios y el vallado metálico producen una serie de apantallamientos y reflexiones que provocan un entramado de radiación de difícil previsión. Las ondas en un punto concreto se podrían asemejar a las olas existentes en el mar, que vienen y van, chocan y desaparecen.

En el mapa de radiación de baja frecuencia (Fig. 10), por el contrario, no se percibe una relación tan evidente entre la intensidad de campo magnético y los tendidos eléctricos. Este hecho puede deberse principalmente a dos cuestiones: 1) En la Fig. 10 únicamente se representaron las partes aéreas de los tendidos dejando, por desconocimiento, la porción subterránea sin dibujar. Estas líneas subterráneas pueden tener una incidencia incluso mayor al localizarse bajo tierra a una distancia más cercana al medidor que las líneas aéreas; y, 2) Los transformadores también podrían estar influyendo en los datos recogidos al emitir radiación con las mismas frecuencias. No hay que olvidar que este tipo de radiaciones son estáticas y llegan hasta distancias cortas (generalmente pocos metros), al contrario que las radiofrecuencias que viajan en el espacio alcanzando hasta los 30 Km de distancia (Balmori, 2004a).

Análisis estadísticos

Una vez realizados los análisis estadísticos, no se han obtenido resultados significativos que muestren afección de las estaciones base de telefonía o los tendidos eléctricos sobre los insectos o las aves con los datos manejados en este trabajo. Sin embargo, en varios estudios previos, se han notificado efectos perjudiciales para ambos grupos animales (Balmori, 2005; Favre, 2011; Cammaerts *et al.*, 2012; Vaitkuvienė y Dagys, 2014). A la hora de justificar estos resultados es necesario situarse en el área de estudio: una zona urbanizada bastante heterogénea con un paisaje bastante degradado y muy cambiante. Esto hace del campus de Moncloa un hábitat poco propicio para el desarrollo de este tipo de trabajos, donde se busca que otras variables ajenas a la radiación se mantengan constantes para así poder valorar de manera precisa sus efectos con la presencia del menor número de variables confundidoras posibles.

Por otro lado, es necesario reseñar que el objetivo primordial de este trabajo ha sido elaborar un mapa de las radiaciones electromagnéticas de baja frecuencia y de radiofrecuencias del Campus de Moncloa. Una vez hecho esto y contando con las amables aportaciones de los datos de observaciones de aves y mariposas realizadas en el entorno, se establecieron unidades de trabajo para poder evaluar posibles efectos. En general, aves y mariposas son grupos considerados buenos bioindicadores de otra diversidad presente y de variaciones en las condiciones ambientales (Balmori, 2004a; Stefanescu *et al.*, 2005), aunque en este caso, se ha contado con unos datos no elaborados específicamente para este estudio concreto, que quizás no hayan sido metodológicamente idóneos para el mismo.

Los datos de mariposas se agruparon en cuadrículas de 250 m x 250 m al considerarse esa medida adecuada, con el número de observaciones necesario para considerar ese área como exhaustivamente muestreada para calcular sus datos de riqueza. Sin embargo, puede haber ocurrido que la superficie de las áreas escogidas para trabajar con los datos hayan sido demasiado amplias, diluyéndose los posibles efectos, al existir grandes variaciones de intensidad del campo electromagnético en el interior de cada unidad de trabajo (cuadrícula). Soria (2015) en un estudio paralelo, obtuvo resultados significativos de afección de la radiación sobre las mariposas en el mismo área de estudio, utilizando unidades de muestreo más reducidas que consistían en circunferencias de 25 m de radio.

Además la riqueza de especies puede que no sea el mejor estimador de los efectos producidos por estas radiaciones, viéndose más afectadas otras características del grupo como la abundancia total de individuos (Soria, 2015).

En el caso de las aves, el método empleado, partiendo de datos a lo largo de transectos de 500 m y ancho de banda de 25 m, fue calcular la radiación en ese área descrita aun siendo conscientes de que la diversidad de zonas recorridas en los transectos y la amplia variación existente en las intensidades de campos electromagnéticos en dichas zonas podían hacer que los posibles efectos producidos por las ondas en zonas de alta y baja radiación se compensaran, generando un resultado global en el conjunto del área no significativo.

En el futuro esperamos poder realizar los mismos análisis pero reduciendo la superficie de la unidad de muestreo, agrupando los datos utilizados de mariposas en cuadrículas más pequeñas. En el caso de las aves, no es posible realizar estos análisis disminuyendo el buffer del transecto, ya que las observaciones no se encuentran georreferenciadas en un punto específico dentro de él.

Por otra parte, es posible que agrupando las aves y las mariposas en grupos que tengan en cuenta su diferente ecología, existan grupos más afectados que otros (por ejemplo, las especies que frecuenten las copas de árboles y tengan posaderos a mayores alturas, serán más vulnerables a radiofrecuencias emitidas por estaciones base y tendidos eléctricos aéreos, que las especies que utilicen preferentemente los estratos arbustivo y herbáceo). Se prevé también repetir los análisis estableciendo diferentes grupos tanto en aves como en mariposas.

En ambos casos, con aves (Bhattacharya y Roy, 2014) y con mariposas (Soria, 2015), se ha demostrado experimentalmente en estudios anteriores que las estaciones de escucha en aves y los puntos de muestreo con mariposas a diferentes distancias del foco de radiación (estación base o tendido eléctrico) o en lugares con distintas intensidades de campos electromagnéticos son más adecuados para observar posibles efectos de estas radiaciones en hábitats uniformes.

Para el resto de variables estudiadas con el fin de realizar una mejor caracterización de las unidades de muestreo escogidas en cada caso, tampoco se obtuvieron resultados vinculantes con la riqueza de mariposas, la riqueza de aves o su densidad, ya que no explicaban un porcentaje significativo de la varianza total.

Sin embargo, la variable latitud mostró una correlación marginalmente significativa y negativa con la densidad de aves, lo que podría significar que a medida que aumenta en latitud, existiría una menor abundancia de aves. Es probable que esta significación marginal se haya producido casualmente, aunque también podría estar relacionada con el gradiente rural-urbano presente en el área de estudio. En ese caso, se observaría un aumento en la abundancia de aves en lugares de perturbación intermedia.

Por último, analizando los datos de aves con los de mariposas se observa que existe una relación significativa entre la riqueza de aves y la de mariposas, lo que implica un mayor número especies de aves en los lugares donde existe un mayor número de especies de mariposas. Esto podría deberse a la especialización en la alimentación de determinadas aves, condicionando su distribución a la presencia de unas u otras mariposas o simplemente a la diversidad de éstas.

Conclusiones

- La intensidad de campo electromagnético no varía a lo largo del año, ni para las radiaciones de baja frecuencia ni para las radiofrecuencias analizadas.
- Confeccionar un mapa de la radiación de una zona a partir de los focos emisores de dicha radiación es arriesgado e impreciso, debido fundamentalmente a la orografía del terreno y a las reflexiones y apantallamientos que tienen lugar con la presencia de edificios y objetos metálicos. Es preferible realizar mediciones en los distintos puntos utilizando los instrumentos de medición apropiados, como se ha hecho en este trabajo.
- No se han obtenido resultados significativos sobre la existencia de efectos nocivos de las radiaciones estudiadas ni influencias de las demás variables analizadas sobre la fauna. Creemos necesario repetir los análisis estadísticos cambiando algunos aspectos metodológicos comentados en la discusión, para mejorar la adecuación de los datos faunísticos al estudio planteado.
- La riqueza de especies de mariposas en un lugar parece condicionar favorablemente la de aves y viceversa, lo que puede ser indicativo de que la diversidad de un grupo favorece la diversidad de otros grupos relacionados.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer especialmente a mis tutores, José Ignacio Aguirre y Francisco José Cabrero, por haberme guiado a lo largo de la realización de este trabajo, aportando información imprescindible para el desarrollo del mismo y, sobre todo, apaciguando con sus acertados consejos cualquier vestigio de agobio o incertidumbre.

En segundo lugar, dar las gracias tanto al Grupo de Seguimiento de Fauna UCM (Entomofauna) como al profesor Álvaro Ramírez por haberme cedido generosamente los datos de mariposas y aves, respectivamente, utilizados en el estudio, así como por su ágil resolución de las dudas surgidas durante el desarrollo del mismo.

Además, quiero mencionar a mi familia, que una vez más ha estado “al pie del cañón” apoyándome y “amimándome” -como dice mi hermano pequeño-, cuando más me hacía falta, transformando ciertos indicios de cansancio en esperanza e ilusión ¡Qué viva el «mindfulness»!

Para terminar, me gustaría dar las gracias a los amigos que me habéis acompañado en los muestreos de campo (Merycoqui, José canario, Ivi y E. Tena): Chicos, qué habría sido de mi sin vosotros; me habéis enseñado que la amistad vale más que soportar un frío helador en invierno, cerca de los 40°C en verano (casi siempre sin agua...) y, sobre todo, a entregar la documentación a la Guardia Civil (requerida con bastante frecuencia, mientras hacíamos fotos y mediciones en los alrededores del Palacio de la Moncloa, quizás temiendo un posible atentado “no ionizante”). También a Bea, Guille, Carmen y a todos aquellos que de un modo u otro me habéis ofrecido vuestra ayuda cuando la he necesitado ¡Os lo agradezco de verdad!

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, M. 2001. Bioelectromagnetismo: Campos eléctricos y magnéticos y seres vivos. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid.
- Balmori, A. 2003. Aves y telefonía móvil. Resultados preliminares de los efectos de las ondas electromagnéticas sobre la fauna urbana. *El Ecologista*, 36: 40-42.
- Balmori, A. 2004a. Posibles efectos de las ondas electromagnéticas utilizadas en la telefonía inalámbrica sobre los seres vivos. *Ardeola*, 51(2), 477-490.
- Balmori, A. 2004b. ¿Pueden afectar las microondas pulsadas emitidas por las antenas de telefonía a los árboles y otros vegetales? *Ecosistemas*, 13 (3): 79-87.
- Balmori, A. 2005. Possible effects of electromagnetic fields from phone masts on a population of white stork (*Ciconia ciconia*). *Electromagnetic Biology and Medicine*, 24:109–19
- Balmori, A. 2006. Efectos de las radiaciones electromagnéticas de la telefonía móvil sobre los insectos. *Ecosistemas*, 15 (1): 87-95.
- Balmori, A. 2009. Electromagnetic pollution from phone masts. Effects on wildlife. *Pathophysiology*, 16(2), 191-199.
- Beasond, R. C. y Semm, P. 2002. Responses of neurons to an amplitude modulated microwave stimulus. *Neuroscience Letters*, 33: 175-178.
- Bhattacharya, R. y Roy, R. 2014. Impact of electromagnetic pollution from mobile phone towers on local birds. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, Volume 3, Special Issue 2.
- Bürgi, A., Scanferla, D., Lehmann, H. 2014. Time averaged transmitter power and exposure to electromagnetic fields from mobile phone base stations. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11, 8025–8037.
- Cammaerts M.C., De Doncker P., Patris X., Bellens F., Rachidi Z. y Cammaerts D. 2012. GSM 900 MHz radiation inhibits ants association between food sites and encountered cues. *Electromagnetic biology and medicine*, 31:151–65.
- Casas, I., Gavilán, R. y Echevarría, J. E. 1993. Catálogo de la flora vascular de la Ciudad Universitaria de Madrid (España). *Botánica Complutensis*, 18, 175.
- Clench, H. K. 1979. How to make regional lists of butterflies: some thoughts. *Journal of the Lepidopterists' Society*.
- Colwell, R. K. 2013. EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species for samples. Version 9. Persistent URL <purl.oclc.org/estimates>.
- Conferencia Internacional sobre la ubicación de antenas para móviles Ciencia Aplicada y Salud Pública Salzburgo, 7-8 de Junio de 2000. Resolución de Salzburgo sobre las estaciones base de telecomunicaciones de móviles. [Consultado: 08/15]. Disponible en: [http://www.ronda.net/asociaciones/antenaslejosya/paginas/Documentos/Resoluci%C3%B3n%20de%20Salzburgo%20\(esp\).htm](http://www.ronda.net/asociaciones/antenaslejosya/paginas/Documentos/Resoluci%C3%B3n%20de%20Salzburgo%20(esp).htm)

- Cooper, M., & Goldberg, M. 1996. Intelligent antennas: Spatial division multiple access. *Annual Review of Communications*, 999-1002.
- Cooper, M. 2003. Antenas adaptables. *Investigación y Ciencia*, 324: 41-47.
- Crawley, M. J. 1993. *GLIM for Ecologists*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK.
- De Pomerai, D. I., Daniells, C., Barker, S. L., Scott, S., Duce, I. R., Thomas, D. W., Sewell, P. D. y Tattersall, J. E. H. 1999. Effects of stress-inducing microwave radiation on lifecycle parameters in the nematode *Caenorhabditis elegans*. Presented at the Twentieth Annual Meeting of the Bioelectromagnetics Society, St. Pete Beach, FL.
- Degteva, A. y C. Nellemann, 2013. Nenets migration in the landscape: impacts of industrial development in Yamal peninsula, Russia. *Pastoralism: Research, Policy and Practice* 3:15. Available from <http://www.pastoralismjournal.com/content/3/1/15>.
- Dobson, A. 1999. *An Introduction to Generalized Linear Models*. Chapman & Hall/CRC, London.
- Engels, S., Schneider, N. L., Lefeldt, N., Hein, C. M., Zapka, M., Michalik, A., Elbers, D., Kittel, A., Hore, P. J., Mouritsen, H. 2014. Anthropogenic electromagnetic noise disrupts magnetic compass orientation in a migratory bird. *Nature* <http://dx.doi.org/10.1038/nature13290>
- Environmental Systems Research Institute (ESRI). 2008. ArcMap 9.3 (Build 1770). ESRI® ArcGIS, 9, 1999-2008.
- Favre D. 2011. Mobile phone-induced honeybee worker piping. *Apidologie*, 42: 270–9.
- Fernie, K. J. y Reynolds, S. J. 2005. The effects of electromagnetic fields from power lines on avian reproductive biology and physiology: a review. *J. Toxicol. Environ. Health, Part B* 8: 127–140.
- Ferrer, M. (2012). *Aves y tendidos eléctricos: del conflicto a la solución*. Fundación Migres.
- Font Tullot, I. 1983. *Climatología de España y Portugal*. 297p. Madrid, INM.
- González, C. 2014. ¿Son mejores los transectos que las estaciones de muestreo? En busca de un método adecuado de censo en mariposas. Trabajo de Fin de Grado (curso 2013-2014).
- Gotelli, N. J. y Colwell, R. K. 2011. Estimating species richness. *Biological diversity: frontiers in measurement and assessment*, 12, 39-54.
- Haumann, T., Münzenberg, U., Maes, W. y Sierck, P. 2002. HF-Radiation levels of GSM cellular phone towers in residential areas. In 2nd International Workshop on Biological effects of EMFS (pp. 327-33).
- Hyland, G. J. 2000. Physics and biology of mobile telephony. *The Lancet*, 356: 1-8.
- Hyland, G. J. 2001. The physiological and environmental effects of non-ionising electromagnetic radiation. Working document for the STOA Panel. European Parliament. Directorate General for Research.
- INE, 2015. Boletín Mensual de Estadística. [Consultado: 13/08/15]. Disponible en: <http://www.ine.es/daco/daco42/bme/c19.pdf>

- Kondra, P. A., Smith, W. K., Hodgson, G. C., Brag, D. B., Gavora, J., Hamid, M. A. y Boulanger, R. J. 1970. Growth and reproduction of chickens subjected to microwave radiation. *Canadian Journal of Animal Science*, 50: 639-644.
- Krueger, W. F., Giarola, A. J., Bradley, J. W. & Shrekenhamer, A. 1975. Effects of electromagnetic fields on fecundity in the chicken. *Annals New York Academy of Sciences*, 247: 391-400.
- Legendre, P. y Legendre, L. 1998. *Numerical ecology: second English edition*. Elsevier, Amsterdam.
- Liboff, A. R., y Jenrow, K. A. 2000. New model for the avian magnetic compass. *Bioelectromagnetics*, 21: 555-565.
- Navarro, E. A., Segura, J., Portolés, M. y Gómez Perreta, C. 2003. The microwave Syndrome: A preliminary Study in Spain. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 22: 161-169.
- Ma T.H. y Chu K.C. 1993. Effect of the extremely low frequency (ELF) electromagnetic field (EMF) on developing embryos of the fruit fly (*Drosophila melanogaster* L.). *Mutation Research*, 303 (1): 35-39.
- McCullagh, P. y Nelder, J. A. 1989. *Generalized linear models*. 2nd edn. Chapman & Hall, London.
- Ministerio de Industria, Energía y Turismo-Secretaría de Estado de Telecomunicaciones y para la Sociedad de la Información. [Consultado: 06/15]. Disponible en: <https://geoportel.minetur.gob.es/VCTEL/vcne.do>
- Mirabolghasemi, G. y Azarnia M. 2002. Developmental changes in *Drosophila melanogaster* following exposure to alternating electromagnetic fields. *Bioelectromagnetics*, 23 (6): 416-420.
- PNOA, 2004. Plan Nacional de Ortofotografía Aérea.
- Pruett, C., Patten, M. A. y Wolfe, D. H. 2009. Avoidance behavior by Prairie Grouse: implications for development of wind energy. *Conservation Biology*, 23: 1253–1259.
- QGIS Development Team. 2014. Quantum GIS Geographic Information System Versión 2.6.0-Brighton [Internet]. Disponible en: <http://qgis.osgeo.org>
- Rivas Martínez, S. 1987. Mapas de series de vegetación de España. Dirección General de Medio Natural y Política Forestal. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. [Consultado: 13/08/15]. Disponible en: http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/memoria_mapa_series_veg_descargas.aspx
- Santini, R., Seigne, M. y Bonhomme-Faibre, L. 2000. Danger des téléphones cellulaires et de leurs stations relais. *Pathologie Biologie*, 48: 525-528.
- StatSoft, Inc. 2004. STATISTICA (data analysis software system), versión 7. www.statsoft.com
- Soberón, J. y Llorente, J. 1993. The use of species accumulation functions for the prediction of species richness. *Conservation Biology*, 7: 480-488.

- Soria, C. (2015). Factores que influyen en la calidad de las áreas de campeo de mariposas diurnas en un entorno urbano (CEI-Campus Moncloa). Trabajo de Fin de Grado (curso 2014-2015). Universidad Complutense de Madrid.
- Stamenkovic-Radak, M., Kitanovic, I., Prolic, Z., Tomisic, I., Stojkovic, B. y Andjelkovic, M. 2001. Effect of a permanent magnetic field on wing size parameters in *Drosophila melanogaster*. *Bioelectromagnetics*, 22 (5): 365-369.
- Stefanescu, C., Peñuelas, J. y Filella, I. 2005. Butterflies highlight the conservation value of hay meadows highly threatened by land-use changes in a protected Mediterranean area. *Biological Conservation*, 126(2): 234-246
- Tanner, J. A. y Romero-Sierra, C. 1982. The effects of chronic exposure to very low intensity microwave radiation on domestic fowl. *Journal of Bioelectricity*, 1: 195-205.
- Tyler, N., Stokkan, K. A., Hogg, C., Nellemann, C., Vistnes, A. I. y Jeffery, G. 2014. Ultraviolet vision and avoidance of power lines in birds and mammals. *Conservation Biology*, 28(3), 630-631.
- Vaitkuvienė, D., y Dagys, M. 2014. Possible effects of electromagnetic field on White Storks *Ciconia ciconia* breeding on low-voltage electricity line poles. *Zoology and Ecology*, 24(4): 289-296.
- Valverde, A. y Hortal, H. 2003. Las curvas de acumulación de especies y la necesidad de evaluar la calidad de los inventarios biológicos. *Revista Ibérica de Aracnología*, 8: 151-161.
- Vistnes, I. y C. Nellemann. 2008. The matter of spatial and temporal scales: a review of reindeer and caribou response to human activity. *Polar Biology*, 31:399–407.
- Weisbrot, D., Lin, H., Ye, L., Bank, M. y Goodman, R. 2003. Effects of mobile phone radiation on reproduction and development in *Drosophila melanogaster*. *Journal of Cellular Biochemistry*, 89: 48-55.

ANEXO I

CUADRICULA	LONGITUD	LATITUD	VMED1	VMAX1	VMAXMED1	B1	VMED2	VMAX2	VMAXMED2	B2	VMED3	VMAX3	VMAXMED3	B3	MEDVMED	MEDVMAX	MEDVMAXMED	MEDB
A01	437063	4478271	116	329	231	4	80	305	214	5	100	295	265	5	98.67	309.67	236.67	4.67
A02	437072	4478203	104	301	160	4	290	430	316	5	390	526	449	5	261.33	419.00	308.33	4.67
A03	437136	4478144	54	295	87	4	230	402	294	5	120	352	136	5	134.67	349.67	172.33	4.67
B01	437371	4478522	29	34	31	4	28	30	30	5	38	39	39	5	31.67	34.33	33.33	4.67
B02	437414	4478600	77	166	103	34	37	47	40	50	70	91	81	55	61.33	101.33	74.67	46.33
B03	437400	4478501	77	90	80	4	80	104	88	5	103	142	118	5	86.67	112.00	95.33	4.67
B04	437521	4478522	28	30	30	4	30	56	36	5	53	90	65	5	37.00	58.67	43.67	4.67
B05	437270	4478338	31	92	37	4	30	111	41	5	60	133	79	5	40.33	112.00	52.33	4.67
B06	437359	4478401	17	27	18	4	32	47	36	5	31	32	32	5	26.67	35.33	28.67	4.67
B07	437577	4478410	8	9	8	4	17	35	18	5	28	30	29	5	17.67	24.67	18.33	4.67
B08	437227	4478216	15	28	18	4	29	35	34	5	60	148	92	5	34.67	70.33	48.00	4.67
B09	437525	4478339	306	329	315	4	46	56	51	4	37	39	39	5	129.67	141.33	135.00	4.33
B10	437586	4478367	28	31	30	4	26	30	29	5	38	43	42	5	30.67	34.67	33.67	4.67
B11	437248	4478204	6	7	6	4	15	17	17	5	29	31	31	5	16.67	18.33	18.00	4.67
B12	437350	4478189	79	140	99	4	85	131	90	5	155	216	201	5	106.33	162.33	130.33	4.67
B13	437475	4478255	24	30	26	4	21	36	23	5	28	29	29	5	24.33	31.67	26.00	4.67
C02	437769	4478610	17	19	17	4	70	92	79	5	80	91	85	5	55.67	67.33	60.33	4.67
C03	438023	4478694	171	258	193	4	310	424	349	5	315	380	353	5	265.33	354.00	298.33	4.67
C04	437844	4478455	9	10	9	4	35	42	36	5	29	44	32	5	24.33	32.00	25.67	4.67
C05	437846	4478591	42	52	50	4	20	24	23	5	28	35	30	5	30.00	37.00	34.33	4.67
C06	437888	4478443	16	17	17	4	27	30	30	4	32	36	34	5	25.00	27.67	27.00	4.33
C08	437743	4478344	20	22	22	4	29	30	30	5	44	45	45	5	31.00	32.33	32.33	4.67
C09	437843	4478398	35	41	38	4	28	34	30	5	100	142	117	5	54.33	72.33	61.67	4.67
C10	437813	4478338	44	49	48	6	60	68	64	8	76	98	90	10	60.00	71.67	67.33	8.00
C11	437861	4478383	45	62	48	4	48	56	50	5	68	77	72	5	53.67	65.00	56.67	4.67
C12	437916	4478274	357	482	363	4	235	334	266	5	235	275	272	5	275.67	363.67	300.33	4.67
C13	438009	4478314	143	195	166	4	83	140	85	5	180	203	185	6	135.33	179.33	145.33	5.00
C14	438069	4478304	147	247	186	4	112	169	143	5	190	283	219	5	149.67	233.00	182.67	4.67
C15	438139	4478360	92	226	113	5	85	226	140	5	100	276	122	8	92.33	242.67	125.00	6.00
C16	438125	4478281	221	297	286	4	105	273	172	5	135	251	221	8	153.67	273.67	226.33	5.67
D04	438635	4478661	311	336	315	4	385	458	417	5	345	409	366	5	347.00	401.00	366.00	4.67
D06	438168	4478570	9	12	9	25	27	42	29	20	25	41	29	80	20.33	31.67	22.33	41.67
D07	438255	4478369	141	218	150	17	100	175	133	12	70	121	105	14	103.67	171.33	129.33	14.33
D08	438362	4478387	290	470	345	14	530	677	574	15	300	502	382	24	373.33	549.67	433.67	17.67
D09	438499	4478399	942	1446	1146	15	800	1577	1083	11	580	1234	745	7	774.00	1419.00	991.33	11.00
D10	438586	4478382	1275	1698	1458	150	1050	1521	1259	17	1400	2118	1713	55	1241.67	1779.00	1476.67	74.00
D11	438261	4478316	280	350	335	4	52	205	55	7	255	307	272	6	195.67	287.33	220.67	5.67
D12	438513	4478323	934	1513	1015	150	1100	1565	1366	135	730	1155	869	13	921.33	1411.00	1083.33	99.33
D13	438594	4478326	1295	1815	1610	150	1000	1406	1110	100	950	1439	1152	100	1081.67	1553.33	1290.67	116.67
E01	438720	4478423	642	975	761	50	970	1728	1073	15	530	689	615	13	714.00	1130.67	816.33	26.00
E02	438820	4478397	330	485	379	5	100	410	210	4	80	136	107	5	170.00	343.67	232.00	4.67
E03	438894	4478453	13	24	15	4	15	26	17	4	32	44	35	5	20.00	31.33	22.33	4.33
E04	438911	4478421	303	580	366	6	35	158	59	4	210	327	299	5	182.67	355.00	241.33	5.00
E05	438800	4478366	320	705	472	5	300	609	365	5	285	529	389	6	301.67	614.33	408.67	5.33
F01	437163	4477863	18	55	27	4	13	50	23	4	32	46	40	5	21.00	50.33	30.00	4.33
F02	437223	4477736	14	47	29	4	18	46	25	4	31	43	43	5	21.00	45.33	32.33	4.33
G01	437560	4478140	71	88	87	4	55	69	64	4	84	105	97	5	70.00	87.33	82.67	4.33
G02	437661	4478100	8	9	8	4	15	17	17	4	26	28	27	5	16.33	18.00	17.33	4.33
G03	437268	4477953	47	654	608	5	60	215	274	5	70	703	653	6	59.00	524.00	511.67	5.33
G04	437458	4477996	29	50	30	5	28	55	50	4	250	760	291	7	102.33	288.33	123.67	5.33
G05	437555	4478013	58	166	58	4	33	55	41	4	37	43	38	5	42.67	88.00	45.67	4.33
G06	437459	4477948	49	226	84	190	390	797	539	6	200	540	319	14	213.00	521.00	314.00	70.00
G07	437560	4477953	56	99	69	4	75	115	89	5	100	108	106	5	77.00	107.33	88.00	4.67
G08	437650	4477967	11	14	13	45	20	27	21	25	34	35	35	100	21.67	25.33	23.00	56.67
G09	437384	4477884	200	373	282	150	140	347	242	65	85	369	101	8	141.67	363.00	208.33	74.33
G10	437327	4477772	170	386	339	4	720	1975	1151	13	700	1062	771	5	530.00	1141.00	753.67	7.33
G11	437457	4477772	171	219	211	4	31	45	32	4	90	169	107	5	97.33	144.33	116.67	4.33
G12	437480	4477683	67	89	71	4	45	66	50	4	115	126	124	5	75.67	93.67	81.67	4.33
G13	437730	4477751	246	467	290	4	390	586	470	4	425	561	480	5	353.67	538.00	413.33	4.33
H01	437925	4478160	45	105	58	4	53	77	59	4	220	248	246	5	106.00	143.33	121.00	4.33
H02	437795	4478110	51	61	53	4	17	20	20	4	31	34	33	5	33.00	38.33	35.33	4.33
H03	437936	4478108	48	72	56	4	330	437	350	4	73	93	84	5	150.33	200.67	163.33	4.33
H04	438020	4478161	105	177	132	4	45	66	53	4	82	86	86	5	77.33	109.67	90.33	4.33
H05	437931	4478042	41	63	47	4	100	153	118	5	85	127	90	5	75.33	114.33	85.00	4.67
H06	437994	4477957	256	282	264	5	95	152	113	5	220	284	243	6	190.33	239.33	206.67	5.33
H07	438176	4477960	101	157	131	4	26	30	30	5	35	52	38	5	54.00	79.67	66.33	4.67
H08	437940	4477885	120	173	151	4	48	67	61	5	75	106	99	7	81.00	115.33	103.67	5.33
H09	438038	4477887	28	41	31	25	60	75	65	6	80	107	90	11	56.00	74.33	62.00	14.00
H10	437819	4477806	396	586	397	5	380	465	445	5	325	569	451	7	367.00	540.00	431.00	5.67
H11	437944	4477800	735	786	741	5	520	590	541	4	610	734	637	5	621.67	703.33	639.67	4.67
H12	438082	4477797	630	863	656	15	400	721	459	9	450	667	509	8	493.33	750.33	541.33	10.67
H13	438163	4477780	420	494	443	8	300	382	314	6	200	307	239	6	306.67	394.33	332.00	6.67
I01	438541	4478243	1056	1646	1296	80	660	1073	832	70	750	1693	1019	25	822.00	1470.67	1049.00	58.33
I02	438339	4478072	13	16	13	12	23	28	28	5	39	50	46	6	25.00	31.33	29.00	7.67
I03	438671	4478135	10	11	10	4	23	29	25	5	27	29	29					

M01	438119	4477681	400	544	424	5	500	860	594	12	540	901	573	6	480.00	768.33	530.33	7.67
M02	438177	4477688	185	304	220	6	120	280	241	4	380	493	404	6	228.33	359.00	288.33	5.33
M03	437842	4477527	400	520	446	5	370	547	440	5	450	579	540	5	406.67	548.67	475.33	5.00
M04	437962	4477554	468	557	497	5	550	645	597	7	440	558	485	5	486.00	586.67	526.33	5.67
M05	438245	4477625	31	35	33	4	38	59	43	4	29	30	30	5	32.67	41.33	35.33	4.33
M06	437833	4477513	700	904	768	10	700	896	794	6	535	736	674	5	645.00	845.33	745.33	7.00
M07	437935	4477421	1135	1614	1261	50	1370	2497	1560	50	1180	1927	1367	10	1228.33	2012.67	1396.00	36.67
M08	437957	4477426	900	1296	1023	18	800	1281	939	18	670	997	810	10	790.00	1191.33	924.00	15.33
M09	438099	4477452	180	329	241	4	50	236	102	4	80	165	109	5	103.33	243.33	150.67	4.33
M10	438157	4477412	412	522	430	9	300	402	362	6	170	244	211	6	294.00	389.33	334.00	7.00
M11	437961	4477345	600	841	669	7	280	603	364	5	500	604	535	5	460.00	682.67	522.67	5.67
M12	438094	4477350	445	645	471	5	370	535	423	5	480	613	529	7	431.67	597.67	474.33	5.67
M13	437990	4477243	200	370	320	4	44	61	55	4	70	144	80	5	104.67	191.67	151.67	4.33
M14	438177	4477277	470	611	512	8	450	614	534	6	590	779	623	10	503.33	668.00	556.33	8.00
N01	438434	4477671	265	374	335	4	370	462	375	5	215	448	271	5	283.33	428.00	327.00	4.67
N02	438511	4477704	17	26	19	4	43	51	44	5	40	45	42	5	33.33	40.67	35.00	4.67
N03	438557	4477643	31	57	40	750	54	135	97	700	33	49	40	550	39.33	80.33	59.00	666.67
N04	438669	4477744	20	30	24	425	28	37	30	225	27	30	30	750	25.00	32.33	28.00	466.67
N05	438352	4477562	301	430	404	4	315	385	341	5	180	226	221	5	265.33	347.00	322.00	4.67
N06	438511	4477584	10	12	10	4	32	37	36	5	27	30	30	5	23.00	26.33	25.33	4.67
N07	438447	4477479	200	431	256	4	550	731	568	8	310	440	357	7	353.33	534.00	393.67	6.33
N08	438661	4477522	45	111	55	65	79	176	105	35	85	150	128	55	69.67	145.67	96.00	51.67
N09	438461	4477439	60	325	77	35	210	368	276	11	380	670	485	9	216.67	454.33	279.33	18.33
N10	438576	4477425	190	374	222	17	180	348	266	9	100	384	183	10	156.67	368.67	223.67	12.00
N11	438415	4477328	16	22	19	13	33	54	40	15	30	44	33	30	26.33	40.00	30.67	19.33
N12	438580	4477320	10	12	10	55	17	21	17	6	25	29	27	8	17.33	20.67	18.00	23.00
O01	438963	4477790	24	171	57	9	90	319	177	7	40	140	49	12	51.33	210.00	94.33	9.33
O03	438964	4477566	470	711	622	240	621	809	673	120	540	757	570	200	543.67	759.00	621.67	186.67
O04	439081	4477581	420	628	518	60	520	672	583	8	350	440	410	12	430.00	580.00	503.67	26.67
O05	438985	4477471	814	1120	1007	33	1110	1666	1386	25	940	1344	1036	40	954.67	1376.67	1143.00	32.67
P01	437426	4477067	12	30	14	6	22	142	68	5	42	83	61	6	25.33	85.00	47.67	5.67
P02	437742	4477048	50	267	84	11	65	242	169	9	95	236	132	11	70.00	248.33	128.33	10.33
P03	437394	4476949	12	33	24	4	23	47	37	4	38	60	51	5	24.33	46.67	37.33	4.33
P04	437551	4476890	350	488	398	4	200	361	305	5	170	347	262	6	240.00	398.67	321.67	5.00
P05	437688	4476917	19	24	20	4	31	37	35	4	45	59	50	5	31.67	40.00	35.00	4.33
P06	437814	4476913	23	73	37	4	15	29	20	8	41	69	53	5	26.33	57.00	36.67	5.67
P07	437393	4476856	9	15	10	4	25	34	30	4	45	122	61	5	26.33	57.00	33.67	4.33
P08	437509	4476665	13	27	16	4	13	30	13	4	33	59	36	5	19.67	38.67	21.67	4.33
P09	437508	4476765	6	7	6	4	10	14	11	4	29	32	30	5	15.00	17.67	15.67	4.33
P10	437639	4476747	17	23	23	4	26	34	30	5	45	53	51	5	29.33	36.67	34.67	4.67
P11	437716	4476844	21	25	22	4	27	30	30	4	49	55	53	5	32.33	36.67	35.00	4.33
P12	437798	4476783	32	51	37	4	25	30	25	4	46	61	52	5	34.33	47.33	38.00	4.33
Q01	438229	4477162	14	30	14	20	17	50	20	5	65	72	72	6	32.00	50.67	35.33	10.33
Q02	437941	4476962	70	325	89	4	150	460	313	4	100	202	123	5	106.67	329.00	175.00	4.33
Q03	438065	4477055	90	258	130	4	230	588	231	5	210	373	272	5	176.67	406.33	211.00	4.67
Q04	438243	4477077	115	285	148	4	130	234	177	4	290	354	319	5	178.33	291.00	214.67	4.33
Q05	438133	4476928	28	32	30	4	33	40	34	4	33	36	35	5	31.33	36.00	33.00	4.33
Q06	438276	4476956	118	313	176	4	280	446	347	5	420	571	499	5	272.67	443.33	340.67	4.67
Q07	438310	4477002	130	325	167	4	51	94	61	5	115	178	134	5	98.67	199.00	120.67	4.67
Q08	438027	4476751	271	305	275	4	83	101	101	4	130	203	164	5	161.33	203.00	180.00	4.33
Q09	438105	4476798	282	324	317	4	130	188	148	5	225	272	242	5	212.33	261.33	235.67	4.67
Q10	438157	4476811	75	103	80	4	90	153	106	5	89	115	104	5	84.67	123.67	96.67	4.67
Q11	438253	4476801	100	260	145	4	301	401	361	4	150	210	176	5	183.67	290.33	227.33	4.33
Q12	438312	4476857	380	464	408	4	425	601	485	5	380	531	442	5	395.00	532.00	445.00	4.67
R01	438436	4477222	12	13	12	4	27	30	30	5	37	45	41	5	25.33	29.33	27.67	4.67
R02	438788	4477291	85	266	105	38	70	179	90	90	130	294	146	160	95.00	246.33	113.67	96.00
R03	438370	4477090	150	372	229	6	80	235	98	7	225	323	291	6	151.67	310.00	206.00	6.33
R04	438610	4477158	7	13	9	4	30	40	35	5	33	37	37	6	23.33	30.00	27.00	5.00
R05	438741	4477157	110	152	115	4	42	122	60	5	170	266	229	5	107.33	180.00	134.67	4.67
R06	438807	4477150	400	496	444	4	330	508	378	4	438	579	458	5	389.33	527.67	426.67	4.33
R07	438813	4477110	354	396	374	4	300	370	342	5	444	491	459	5	366.00	419.00	393.33	4.67
R08	438446	4477009	110	150	115	4	49	56	52	5	200	229	218	5	119.67	145.00	128.33	4.67
R09	438621	4477029	199	250	205	4	200	287	221	4	148	229	182	5	182.33	255.33	202.67	4.33
R10	438630	4476972	89	137	89	4	109	157	130	5	185	232	202	5	127.67	175.33	140.33	4.67
R11	438687	4477000	150	270	173	4	100	137	116	5	110	146	128	5	120.00	184.33	139.00	4.67
R12	438796	4476987	350	727	542	11	550	716	628	40	320	444	401	5	406.67	629.00	523.67	18.67
R13	438502	4476816	510	642	531	10	419	634	465	18	505	711	561	9	478.00	662.33	519.00	12.33
R14	438678	4476820	210	282	272	4	250	301	286	5	98	145	126	5	186.00	242.67	228.00	4.67
S01	438974	4477165	200	437	234	4	325	490	395	5	310	382	335	5	278.33	436.33	321.33	4.67
S02	439086	4476942	84	141	129	6	320	381	342	5	265	460	301	8	223.00	327.33	257.33	6.33
T01	437611	4476465	10	17	12	5	90	252	114	6	98	271	122	7	66.00	180.00	82.67	6.00
T02	437630	4476510	6	8	7	6	13	15	14	7	28	33	29	7	15.67	18.67	16.67	6.67
T03	437806	4476500	19	48	26	27	17	23	20	5	31	48	34	6	22.33	39.67	26.67	12.67
T04	437727	4476247	270	442	311	53	380	527	432	10	350	470	408	28	333.33	479.67	383.67	30.33
T05	437866	4476276	110	316	204	13	200	322	234	9	220	347	276	11	176.67	328.33	238.00	11.00
U01	438032	4476686	207	25														