

Procesos ecológicos implicados en el ensamblaje de comunidades de taludes de carretera y su aplicación a la restauración ecológica

R. de Torre^{1*}

(1) Departamento Interuniversitario de Ecología, Facultad de Biología, Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid

* Autor de correspondencia: R. de Torre [rociidetorrecejias@gmail.com]

> Recibido el 01 de febrero de 2015 - Aceptado el 21 de febrero de 2017

de Torre, R. 2017. Procesos ecológicos implicados en el ensamblaje de comunidades de taludes de carretera y su aplicación a la restauración ecológica. *Ecosistemas* 26(1): 112-115. Doi.: 10.7818/ECOS.2017.26-1.17

La construcción de carreteras provoca una drástica transformación del paisaje y una severa alteración del funcionamiento de las comunidades y de los ecosistemas que atraviesan. El movimiento de tierras asociado a la construcción de carreteras puede causar pérdidas significativas en los ecosistemas, sobre todo entre los legados abióticos y bióticos (materia orgánica, banco de semillas del suelo o biomasa). Este deterioro compromete la reorganización y restauración de estos ecosistemas. Esta tesis doctoral tiene como objetivo principal estudiar algunos de los procesos ecológicos que dirigen el funcionamiento de especies y comunidades en los taludes de carretera y sus implicaciones en la restauración ecológica.

La tesis se divide en 3 bloques en los que abordamos distintos procesos ecológicos. En el primer bloque, evaluamos si una medida de restauración estándar, como plantaciones ornamentales en taludes, cumplen funciones de tipo ecológico. Para este estudio seleccionamos terraplenes de la variante de El Molar de la autovía A1 en Madrid (40 ° 44'N, 3 ° 35'W). En el segundo bloque, perseguimos conocer el funcionamiento "in situ" de la especie *Dactylis glomerata*. Con dicho propósito examinamos la respuesta morfo-fisiológica de individuos sometidos a un ambiente enriquecido en contaminantes producidos por el tráfico rodado. En el tercer bloque, estudiamos la regulación de las condiciones microclimáticas mediante diferentes coberturas del terreno: vegetación, hojarasca (materia de origen vegetal que se encuentra en proceso de descomposición) y suelo desnudo en taludes de carretera a distintas escalas temporales. La zona de estudio para el segundo y tercer bloque se localizó en la carretera M-12 de Madrid (40° 29'N, 03°34'W).

Papel ecológico de las plantaciones en los taludes de carretera

Las plantaciones son una medida de revegetación estándar en espacios afectados por infraestructuras lineales. No obstante, poco se sabe sobre sus efectos sobre la estructura y el funcionamiento en estos ecosistemas (Le Viol et al. 2008).

En este estudio nos planteamos dos hipótesis: (1) si las plantaciones activan la dispersión de semillas por aves, conectando el entorno inmediato de la carretera con el paisaje circundante y (2) si las plantaciones modulan los filtros ambientales que actúan sobre el "pool" regional de especies dando lugar a la comunidad local.

Para testar la primera hipótesis, muestreamos 2 años la población de aves mediante muestreos lineales y focales para analizar la composición de la comunidad y el patrón de distribución espacial en 6 terraplenes: 3 sin y 3 con plantaciones. También, estimamos la dispersión de semillas mediante el conteo de excrementos de aves y la abundancia de semillas, recogidos en trampas colocadas dentro y fuera de las plantaciones. Además, medimos la densidad de plantas leñosas con y sin frutos carnosos en las matrices de vegetación próximas. Para abordar la segunda hipótesis, evaluamos el efecto de las plantaciones sobre las variables edáficas y la dinámica de la vegetación (cobertura, riqueza, diversidad y composición de especies), durante 3 años en los mismos 3 terraplenes con plantaciones, a los que aplicamos 3 tratamientos: control (C) donde no se realizó ninguna intervención, fuera de isla (F) donde se realizó un ahoyado, la adición de turba y dos riegos de mantenimiento y dentro de isla (D) donde se realizó un ahoyado, la adición de turba, dos riegos de mantenimiento y se plantó un árbol de la especie *Prunus cerasifera* subsp. *pissardii* de unos 3 m, rodeados por 4 arbustos (*Pyranantha coccinea*) (Fig. 1). Asimismo, seguimos la dinámica de la vegetación de las matrices próximas durante 2 años.

Nuestros resultados mostraron que las plantaciones actuaron como atrayentes selectivos de las aves frugívoras presentes, suministrándoles comida y posaderos. Encontramos 210 excrementos de aves, el 9 % con semillas que en su mayoría procedían de los arbustos plantados (57.9 %). También, los resultados de la ANOVA de medidas repetidas en el período de octubre a enero revelaron diferencias significativas para el número de excrementos entre terraplenes y entre la localización de las trampas, recogándose 1.7 veces más excrementos dentro de isla (Tabla 1).

Por otro lado, la abundancia de aves frugívoras detectadas en los taludes estuvo relacionada positivamente con la abundancia de especies leñosas con frutos carnosos de las matrices de vegetación próximas ($r = 0.976$, $p < 0.001$, $N = 6$). Sin embargo, como la comunidad de aves estaba dominada por especies granívoras (87% del total), la abundancia de frugívoros no fue suficiente para mejorar la dispersión de semillas. Por todo ello, la plantación de árboles con fruto en el contexto de un paisaje agrícola de secano, no mejoró la conectividad entre los taludes de carretera y su matriz próxima.

Tabla 1. ANOVA de medidas repetidas para la tasa de deposición de excrementos transformada (logaritmo (excrementos/m² mes)+1). El terraplén y la localización de la trampa (Dentro / Fuera de la isla) fueron considerados factores fijos, y la fecha se consideró como factor de repetición. El análisis de febrero de 09 – abril 10 se realizó con todas las muestras (N=17) y para el periodo de mayor actividad (octubre 09 – enero 10) consideramos N=8.

Table 1. Repeated measures ANOVA for the transformed rate of droppings (log (droppings / m² month) +1). Fixed factors: embankment and traps location (Inside / Outside of the island); repetition factor: date. February 09 to April 10 analysis was performed with all samples (N = 17). A sub-sample of N = 8 was considered for the period of greatest activity (October 09 to January 10).

	Febrero 2009 – abril 2010			Octubre 2009 - enero 2010		
	gl	F	p	gl	F	p
Terraplén	2	5.95	0.007	2	13.57	<0.001
Dentro / Fuera de isla	1	3.78	0.063	1	3.65	0.040
Terraplén x Dentro / Fuera de isla	2	0.09	0.913	2	0.14	0.871
Fecha	16	5.91	<0.001	7	3.51	<0.001
Fecha x Terraplén	32	2.85	<0.001	14	1.84	0.036
Fecha	16	2.63	<0.001	7	1.43	0.195
Fecha x Terraplén x Dentro / Fuera de isla	32	1.76	0.007	14	2.15	0.011

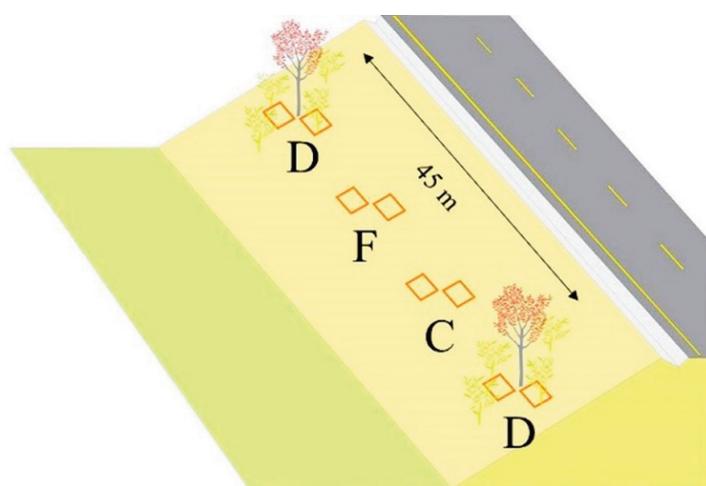


Figura 1. Diagrama del diseño experimental de los terraplenes. Se localizan los 2 cuadros de muestreo de vegetación por cada uno de los tres tratamientos: control (C), fuera de isla (F), dentro de isla (D).

Figure 1. Diagram of the experimental design on the embankments. Two vegetation sampling plots were used for each of the three treatments: control (C), outside the island (F), inside island (D).

Por otro lado, las plantaciones sólo tuvieron efecto sobre una de las variables edáficas, siendo mayor la concentración de nitratos dentro de isla sólo durante primer año. La composición de especies no se vio afectada por las plantaciones. Sin embargo, los resultados muestran que la composición de la vegetación de la matriz (Fig. 2) y las condiciones edáficas particulares de cada terraplén determinaron la composición de plantas en los taludes (Fig. 3).

Efectos de los contaminantes procedentes del tráfico sobre *Dactylis glomerata* L.

Los entornos de las carreteras son ambientes sometidos a elevadas concentraciones de contaminantes, tales como el dióxido de carbono y los metales, que pueden influenciar al desarrollo de las plantas (Kittelson et al. 2004). En este estudio abordamos el funcionamiento "in situ" de *Dactylis glomerata*. Para ello examinamos la respuesta morfológica, ecofisiológica y reproductiva de individuos, a distintas intensidades de tráfico y a diferentes distancias de la vía. En primer lugar, evaluamos la hipótesis de fertilización por altas concentraciones de CO₂ y en segundo lugar, analizamos si la especie de acumulaba partículas metálicas (Pb, Zn, Cu, Sr, Sn y Cd) y sus efectos. Para comprobar la primera hipótesis, analizamos las curvas

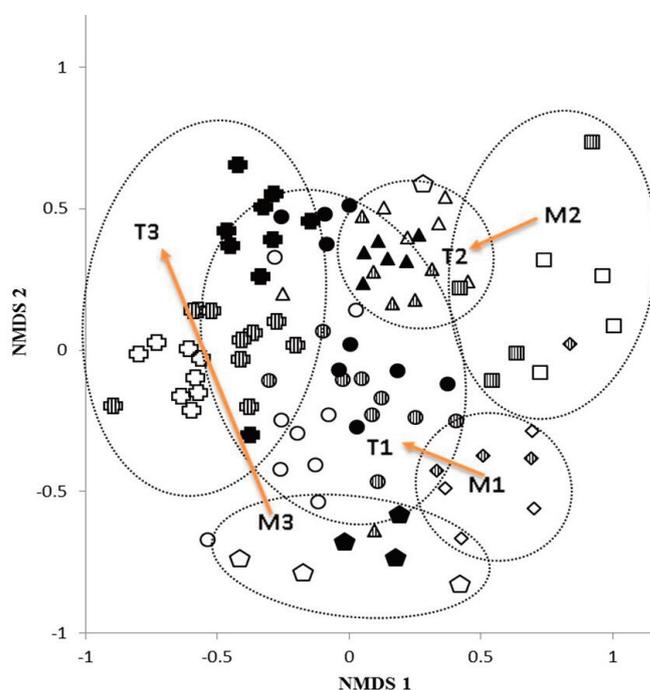


Figura 2. NMDS para la composición de especies de los terraplenes donde se aplicaron los tratamientos y sus matrices asociadas para 3 y 2 años. Se muestran 15 grupos de parcelas generados a partir del año de muestreo representado por el tipo de relleno (2009: □, 2010: ▨ y 2011: ▩) de la ubicación de cada parcela representado por símbolos (terraplenes: T1, T2 y T3 y matrices adyacentes asociadas a cada terraplén: M1, M2 y M3). Los tratamientos que se aplicaron no se representaron gráficamente ya que no se observó ninguna segregación de parcelas en función de este factor (N=36).

Figure 2. NMDS for the species composition in the embankments where the treatments were applied and their associated matrices for 3 and 2 years. Fifteen plot groups are shown; fill type refer to year (2009: □, 2010: ▨ and 2011: ▩), and shape to plot location (embankments: T1, T2 and T3 and matrices associated with each embankment: M1, M2 and M3). Treatments are not shown because they did not have a significant effect on plot segregation (N = 36).

repuesta al CO₂, el SLA, los pigmentos fotosintéticos, el nitrógeno foliar, los carbohidratos, el número de estomas y algunos parámetros de crecimiento. Nuestros resultados no apoyan la hipótesis de fertilización por alto CO₂, posiblemente debido a que el aumento de CO₂ tuvo lugar en condiciones edáficas caracterizadas por niveles bajos de nitrógeno y agua. Por el contrario, en las zonas de mayor

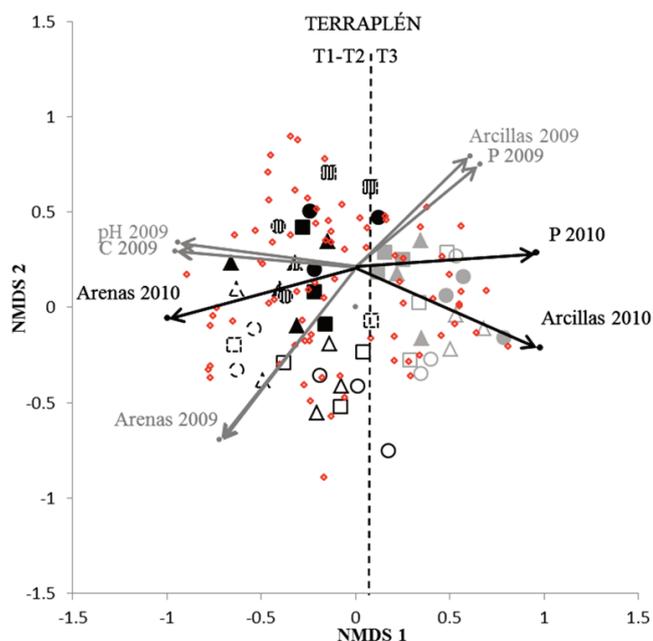


Figura 3. NMDS para la composición de especies de los terraplenes donde se aplicaron los tratamientos para 2 años. Los valores de las variables edáficas y los factores fueron ajustados a la ordenación NMDS. Se muestran los 18 grupos de parcelas generados a partir del año de muestreo, representado por el tipo de relleno (2009: vacío y 2010: lleno), del terraplén al que pertenecen representado por colores y trazas (T1: ■, T2: ▨ y T3: ▩) y del tratamiento que se aplicó a cada parcela representado por símbolos (Control: △, Fuera de isla: □ y Dentro de isla: ○) y las especies (◇). Se representan aquellas variables edáficas para el 2009 (→) y para el 2010 (→) con correlaciones significativas para la composición de especies. La orientación de las flechas indica la dirección en el espacio de ordenación en el cual las variables cambian más rápidamente y en las cuales correlación es máxima con la configuración de ordenación, mientras la longitud de las flechas indica la tasa de cambio (N=24).

Figure 3. NMDS for the species composition on the embankments where the treatments were applied for 2 years. Soil variables values and factors were adjusted to the NMDS ordering. Eighteen plot groups are shown; fill type refer to sampling year (2009: empty and 2010: full), colour and traces refer to embankment (T1: ■, T2: ▨ and T3: ▩), and symbols refer to the treatment (Control: △, Out of island: □ and Inside of island: ○) and species (◇). Edaphic variables correlated significantly with species composition is represented by arrows in 2009 (→) and for 2010 (→). Arrows orientation indicates the direction in the ordering space in which the variables change more quickly and in which correlation is maximum with the ordering configuration, while the length of the arrows indicates the rate of change (N = 24).

Tabla 2. ANOVA de medidas repetidas para la concentración de metales (año como factor de repetición e intensidad de tráfico, distancia a la carretera y material analizado (hojas lavadas y sin lavar, raíces y rizosfera) como factores fijos). Los valores de estaño y cadmio estuvieron por debajo del umbral de detectabilidad.

Table 2. Repeated measures ANOVA for the concentration of metals. Fixed factors: traffic intensity, distance to the road and analysed material (washed and unwashed leaves, roots and rhizosphere; repetition factor: year. Tin and cadmium concentrations were below the detectability threshold.

	Plomo		Zinc		Cobre		Estroncio	
	F	p	F	p	F	p	F	p
Distancia a la carretera	2.02	0.162	0.55	0.461	0.05	0.822	1.998	0.167
Intensidad de tráfico	0.12	0.734	3.73	0.060	1.89	0.176	4.218	0.058
Material analizado	47.22	<0.001	18.83	<0.001	49.28	<0.001	2.067	0.123
Distancia a la carretera x intensidad de tráfico	0.04	0.834	0.41	0.523	1.80	0.186	2.067	0.123
Distancia a la carretera x material analizado	2.40	0.080	0.53	0.666	0.92	0.439	0.489	0.692
Intensidad de tráfico x material analizado	0.16	0.920	0.56	0.647	0.17	0.914	0.340	0.797
Año	22.45	<0.001	2.53	0.118	30.07	<0.001	14.022	<0.001
Año x distancia a la carretera	0.35	0.555	2.85	0.098	0.03	0.863	0.770	0.386
Año x intensidad de tráfico	0.16	0.690	2.50	0.121	1.69	0.200	0.062	0.805
Año x material analizado	3.63	<0.050	1.61	0.201	16.56	<0.001	0.101	0.959

intensidad de tráfico, los parámetros fotosintéticos fueron menores, mientras que el contenido de almidón fue casi del doble, lo que podría indicar una regulación a la baja de la fotosíntesis. Para valorar la capacidad y efectos de acumulación de metales en *Dactylis glomerata*, se examinaron sus tejidos vegetales y el suelo. Los análisis mostraron que *Dactylis glomerata* acumuló Pb, Cu, Zn y Sr (Tabla 2). También, se observó que tanto las plantas situadas de los tramos de alta intensidad como aquellas más próximas a la vía, redujeron el número de inflorescencias, posiblemente como consecuencia de la acumulación de alguno de éstos metales ($p < 0.05$).

Regulación de las condiciones microclimáticas en taludes de carretera a través de diferentes tipos de cobertura

En ambientes mediterráneos donde las características climáticas pueden ser extremas, la cobertura de origen vegetal puede jugar un papel importante modulando las condiciones microclimáticas (Padilla y Pugnaire 2006).

En este bloque estudiamos el efecto de las coberturas del terreno (vegetación, hojarasca y suelo desnudo) sobre la regulación microclimática. Primeramente, pusimos a punto una técnica para la obtención automática de coberturas a través de fotografías digitales utilizando el programa *eCognition Developer*. La hipótesis general fue si los distintos porcentajes de cobertura modulan las condiciones microclimáticas de los taludes. Para este estudio, monitorizamos la temperatura del suelo y del aire, el contenido hídrico del suelo, la humedad relativa y la radiación fotosintéticamente activa y se calculó la oscilación térmica del suelo y del aire. Los datos microclimáticos se analizaron utilizando distintas aproximaciones estadísticas (ajustes de series temporales, correlaciones de Spearman y árboles de decisión). Nuestros resultados indicaron que las interacciones entre las coberturas y las variables microclimáticas son complejas, dependientes de la escala temporal estudiada y que están influenciadas por la dinámica climática regional, con un marcado patrón estacional. A pesar de esta complejidad, los resultados mostraron que las coberturas de vegetación y hojarasca afectaron en mayor medida a la temperatura del suelo y del aire y a sus variables asociadas. Esta relación es más fuerte en otoño e invierno, coincidiendo con un mayor desarrollo de la vegetación. Durante estas estaciones, las coberturas de origen vegetal (sobre todo la hojarasca, pero también la vegetación) redujeron la oscilación térmica del suelo, indicando un efecto amortiguador. Nuestros resultados apoyan que el mantenimiento de cierta cobertura de origen vegetal tiene un papel relevante en la regulación microclimática, mejorando las condiciones para el establecimiento de la vegetación.

Referencias

Kittelson D.B., Watts W.F., Johnson J.P., Remerowki M.L., Ische E.E., Oberdörster G., Gelein, R.M., Elder, A., Hopke, P.K., Kim, E., Zhao, W., Zhou, L., Jeong, C.H. 2004. On-road exposure to highway aerosols. 1. Aerosol and gas measurements. *Inhalation Toxicology* 16: 31-39.

Le Viol, I., Julliard, R., Kerbiriou, C., De Redon, L., Carnino, N., Machon, N., Porcher, E. 2008. Plant and spider communities benefit differently from the presence of planted hedgerows in highway verges. *Biological Conservation* 141: 1581-1590.

Padilla, F.M., Pugnaire, F.I. 2006. The role of nurse plants in the restoration of degraded environments. *Frontiers in Ecology and the Environment* 4(4): 196-202.

ROCÍO DE TORRE CEIJAS

Procesos ecológicos implicados en el ensamblaje de comunidades de taludes de carretera y su aplicación a la restauración ecológica

Tesis Doctoral

Departamento de Ciencias de la Vida de la Universidad de Alcalá

Julio 2014

Directores: María Dolores Jiménez Escobar y Luis Balaguer Núñez

Le dedico esta publicación a nuestro querido amigo y compañero Luís Balaguer que falleció el 19 de Marzo de 2014.

Publicaciones resultantes de la tesis

Torre, R., Jiménez, M.D., Ramírez, A., Mola, I., Casado, M.A., Balaguer, L. Use of restoration plantings to enhance bird seed dispersal at the roadside: Failures and prospects (under review). *Environmental Engineering and Landscape Management* 23(4), 302-311.