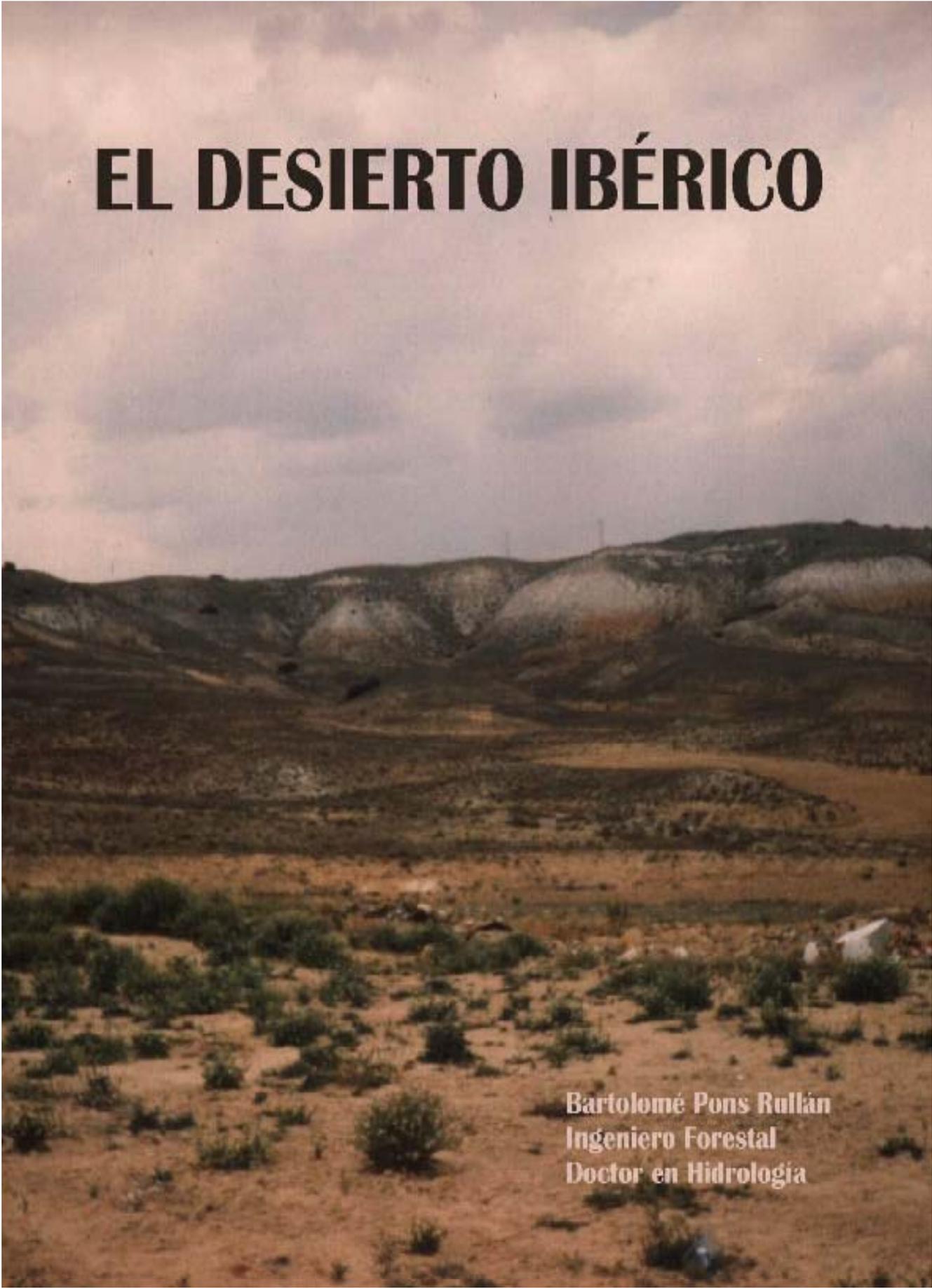


# **EL DESIERTO IBÉRICO**

The background of the cover is a photograph of a semi-arid landscape. In the foreground, there is a sandy, brownish ground with scattered small, green, scrubby bushes. The middle ground shows a valley with more dense, low-lying vegetation. In the background, there are rolling hills with a mix of green and brown patches, suggesting a semi-arid environment. The sky is filled with soft, greyish clouds, indicating an overcast day. The overall tone of the image is somewhat somber and desolate, reflecting the theme of the book.

**Bartolomé Pons Rullán**  
**Ingeniero Forestal**  
**Doctor en Hidrología**

# DESCRIPCIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE PROCESOS DE REGRESIÓN, DEGRADACIÓN, DESERTIZACIÓN y DESERTIFICACIÓN

El hombre de estos campos, que incendia pinares  
y su despojo guarda como botín de guerra,  
antaño hubo raído los negros encinares,  
talado los robustos robles de la sierra

Hoy ve a sus pobres hijos huyendo de sus lares,  
la tempestad llevarse los limos de la tierra  
por los sagrados ríos hacia los anchos mares,  
y en páramos malditos trabaja, sufre y yerra.

Campos de Castilla  
*Antonio Machado*

La imagen en portada corresponde a los alrededores de Aranjuez en Primavera, con pluviosidad algo inferior a los 500 mm anuales, sequía estival, y agresividad climática y torrencialidad bajas. En absoluto un clima desértico, aunque frágil, que sin embargo permitió una vegetación de encinar. La sobreexplotación agrícola y ganadera ha esterilizado el suelo transformándolo en un biotopo de mínima productividad y biodiversidad, económicamente despreciable y que en su tozudo mantenimiento conserva también la miseria que lo creo. Ello en un clima poco propenso a las inundaciones, que sin embargo dada su degradación se ha convertido hoy en foco de riesgo de avenidas para poblaciones más abajo.

## **INDICE**

### **PRÓLOGO**

Enfoque de la exposición. La importancia del rigor y coherencia en la definición de los conceptos. Lo que se mide reduce la polémica a la esencia de los problemas. La demagogia ambiental populariza las problemáticas, lo que es de agradecer, pero distorsiona las causas y efectos, y eso hay que corregirlo.

### **PARTE I**

*Descripción*

## **MITOLOGÍA AMBIENTAL**

Qué no es desertización, y que conceptos incorrectos se están manejando populista y emocionalmente en relación a este título. El desierto no avanza, nosotros avanzamos hacia el desierto. En la Cuenca Mediterránea la desertización es consecuencia de la historia, de la sobreexplotación de los recursos naturales, del fuego y de la ganadería extensiva, el resto es anecdótico si esto no está claro.

## **DEFINICIÓN**

Evolución de las definiciones conceptuales de la desertización realizadas por diferentes autores y organismos internacionales. Criterios generalmente aceptados.

## **CONCEPTOS**

Definiciones de regresión, degradación, desertización, desertificación, desierto, fragilidad, resistividad, reversibilidad, posibilidad, productividad, capacidad, biodiversidad,...

## **DIMENSIÓN MUNDIAL**

En países subdesarrollados, el problema de la desertización es consecuencia de su historia, desarrollo, cultura y demografía, y su solución pasa por medidas no ambientales. El aspecto técnico de lucha contra la desertización es sólo aplicable en los países más adelantados, donde el medio natural es una fuente de también de bienestar y no sólo de supervivencia. Estadísticas y convenios internacionales de deforestación, erosión, producción, demografía, nivel de consumo, explotación de recursos,...

## **CICLOS Y CAMBIO CLIMÁTICO**

Radiación entrante y saliente, factores que afectan al régimen termométrico y procesos de reequilibrio. Influencia del régimen termométrico sobre el pluviométrico. El Cambio Climático, de existir, es de un orden de importancia generalmente mucho menor en la desertización, que la sobreexplotación indiscriminada de los recursos naturales.

## **HISTORIA NATURAL**

El proceso de desertización tiene tantos años como la civilización, pero ahora somos y consumimos más. Seguimos sin aplicar criterios de planificación en el uso de los limitados recursos naturales.

## **PARTE II**

*Cuantificación*

## **FRAGILIDAD CLIMÁTICA**

Pluviosidad y torrencialidad. Conceptos y su cuantificación. La desertización es una consecuencia de cuánto, cómo, cuándo y dónde llueve, no necesariamente de que llueva poco.

## **PROCESOS EDÁFICOS DEGENERATIVOS**

El agua en el suelo. Procesos de empobrecimiento de la productividad. Influencia del abuso de fertilizantes, riegos y quemadas controladas. Efectos del fuego. Medida de la fragilidad edáfica.

## **EROSIONABILIDAD**

Descripción y tipos. Cuantificación. Ponderación de los factores que intervienen.

## **EROSIÓN Y SEDIMENTACIÓN**

El balance hídrico. Erosionabilidad efectiva y precipitación útil. Escorrentía superficial. El agua como agente de transporte para hacer efectiva la fragilidad edáfica. Lluvia aparente.

## **GRADO DE DESERTIZACIÓN**

La fragilidad, de hacerse efectiva, conduce a una merma de la capacidad. Variables cuantitativas: biomasa y productividad. Variables cualitativas: biodiversidad y valor.

## **PARTE III**

### *Acciones*

## **LUCHA CONTRA LA DESERTIZACIÓN**

Para detener el proceso: adecuar la producción a la posibilidad, y el modo de uso a la vocación del suelo. O sea, desarrollo sostenible.

Para recuperar: desde acciones drásticas igual que el daño realizado, tales como aterrazados, repoblaciones,...; hasta suaves como reconversión y limitación de la posibilidad. Las acciones técnicas son requisitos de tiempo, presupuesto, control de riesgos y grado de desertización obtenido.

## **IMPACTO, RIESGOS Y COSTES**

Evaluación de los beneficios en la lucha contra la desertización. Análisis de impacto de las posibles acciones. Riesgo de inundaciones. La necesidad de la justificación económica.

## **CONCLUSIÓN**

### **ANEXOS**

*Metodología*

#### **AGRESIVIDAD CLIMÁTICA**

*Cuantificación de la Torrencialidad. Erosionabilidad climática.*

#### **REVERSIBILIDAD CLIMÁTICA**

*Climodiagramas. Clasificaciones bioclimáticas.*

#### **INTERRELACIONES EDÁFICAS**

*Dinámica del agua en el suelo, y con ello de los nutrientes.*

#### **MUESTREO Y ANÁLISIS DE SUELOS**

*Muestreo edáfico. Variables a considerar en los análisis de suelos.*

#### **FRAGILIDAD OROGRÁFICA**

*Variables a considerar. Escala de cuantificación.*

#### **EROSIONABILIDAD HÍDRICA**

*Agresividad y Resistividad. Protección del suelo por la vegetación. Prácticas agronómicas de conservación de suelo. Cuantificación de la erosionabilidad.*

#### **EROSIONABILIDAD EOLICA**

*Variables y modelos de simulación.*

#### **TRANSPORTE DEL SUELO**

*Erosión y sedimentación. Cuantificación de la erosión neta. Cuantificación de la escorrentía. Modelos de simulación de caudales sólidos y líquidos. Hidrogramas. Precipitación aparente para el ecosistemas y para la sociedad.*

#### **PRODUCTIVIDAD NATURAL**

*Procedimientos de cuantificación.*

#### **BIODIVERSIDAD**

*Procedimientos de cuantificación.*

### ***COSTE DE LA DESERTIZACIÓN***

*Estimación económica de las pérdidas por no actuar y los beneficios de actuar. Disminución de la productividad, incremento de la fragilidad, seguros por riesgo de inundaciones y pérdidas de suelo, reducción del valor del suelo, disponibilidad de agua para consumo y riego,...*

### ***METODOLOGÍA DE ANÁLISIS***

*Información disponible. Operativa de análisis, descripción, cuantificación, opciones correctoras e impacto natural, económico y para las personas. Cartografía temática.*

## PRÓLOGO

El desarrollo de la sociedad industrial ha provocado una singular presión sobre el medio natural consecuencia de una profunda y compleja transformación, que de forma interesada para esta exposición, pudiera sintetizarse en:

- importante desarrollo científico y tecnológico
- generalización de la asistencia médica, que ha permitido aumentar la esperanza de vida y la tasa de natalidad
- permitirse un lujo demográfico sin precedentes, y por tanto una necesidad de recursos pesqueros, agrícolas y ganaderos muy superior
- incrementar las necesidades de recursos naturales según se consiguen mayores niveles de vida, tanto agrícolas, como forestales, minerales, energéticos,...
- someter al medio natural a la obligación de absorber los excedentes y residuos a una velocidad superior a la que inercialmente es capaz
- generalización en la distribución de información, y por tanto de la capacidad de análisis crítico colectivo de las situaciones
- desarrollo de sistemas sociopolíticos que permiten la expresión de opiniones colectivas
- evolución de la conciencia social, que opina y ejerce cada vez más presión sobre más temas

Esta misma conciencia social está condicionada por la información que asume y si bien es cada vez mayor la concienciación colectiva frente a la problemática medioambiental, dentro de esta se tratan con diferente criterio sus diferentes aspectos, y concretamente la degradación.

La sociedad se preocupa por el agujero de ozono, por la contaminación de los ríos, por la polución de las ciudades, la extinción de especies, la urbanización desmesurada, o incluso por la misma desertización, no sólo porque se le suministra información alarmante al respecto, sino además, porque convive con ello y le provoca una opinión. Sin embargo **la degradación es un concepto que por su duración va más allá** de la experiencia de una generación, o incluso de una sociedad, y no se está considerando en su importancia real.

Si bien explícitamente la sociedad quiere informarse y opina sobre la degradación, implícitamente considera la misma sólo parcialmente, ya que siendo un proceso en funcionamiento desde el inicio de la civilización, se convive solamente con sus fases actuales. Es más, a diferencia de otras problemáticas ambientales nacidas con la sociedad industrial, la degradación del suelo la causa y necesita la sociedad agrícola. Lo único que ha hecho la sociedad industrial ha sido incrementar las necesidades a través del disparo demográfico (curiosamente sobretudo en zonas no industrializadas), y a través del aumento del nivel de consumo de la población, potenciando cuantitativamente estos viejos procesos, que existen desde que nos organizamos en civilización.

Siendo un proceso consecuencia de la explotación tradicional del medio, es preocupante la defensa a ultranza de todo lo que sea tradicional por los que bienintencionadamente quieren proteger el medio ambiente, por considerarse natural, aunque muchas veces sea aberrante. Como veremos, una de las principales causas del estado en el que está España, es el abuso de la trashumancia, lo que curiosamente no sólo no es motivo de crítica por los grupos de presión y decisión, sino que incluso es práctica apoyada institucionalmente, hasta con subvenciones. El primer acto institucional del primer Ministro (a) con nombre de Medio Ambiente en España fue, curiosamente, el pasar el día nominado a su defensa precisamente con los pastores trashumantes que quedan como vestigio de La Mesta. ¡Bucólico pero aberrante!

El que la sociedad no considere como problemática medioambiental paisajes erosivos, que en ocasiones hasta se consideran bellos y dignos de conservación, no es más que por olvido. Los poetas cantan a los páramos castellanos, salpicados de lomas improductivas a base de tozudos arados sin rendimiento; los turistas visitan rutas paisajísticas por escarpadas montañas mediterráneas, que han perdido su suelo por quemas y pastoreo.

Las palabras tradicional y respeto por el Medio Ambiente se confunden, y es falso, pues las prácticas de aprovechamiento de los recursos del medio han dejado su huella en el suelo desde lo que es para nosotros, siempre. Las prácticas tradicionales han sido muy nocivas para el medio, y es un error pretender una continuidad de las mismas como fórmula de respeto a la Naturaleza. Más bien es todo lo contrario, ya que con una presión demográfica y consumismo explosivos, no podemos más que asumir prácticas modernas que tengan criterios de conservación del medio a través de la planificación de usos y reciclaje de subproductos. **Debemos avanzar con desarrollo planificado y sostenible, no retroceder.**

En una comunidad estabilizada, las prácticas de explotación, la demografía y el nivel de consumo definen el grado de “parasitismo” hacia el medio. Si la población es estable, el nivel de degradación también lo es con las prácticas tradicionales, pero existe. Si estas evolucionan, lo mismo harán los ecosistemas, ya sea hacia la regeneración o hacia la degradación.

Por el mero hecho de existir consumimos recursos del medio natural (que probablemente no están en nuestro entorno inmediato, y de los que no conocemos las consecuencias de su extracción). Podemos ser más o menos, y unitariamente necesitar más o menos, pero para vivir necesitamos recursos, y ello nos impone un máximo en demografía y consumo, pues la capacidad productiva del medio es limitada. En 1997 se produce en el Mundo lo suficiente para mantener a toda su población, pero el medio es absolutamente incapaz de producir para la demografía actual recursos para que todos tengamos un nivel de vida de los países mal llamados *desarrollados*, es más, incluso es muy discutible que la producción actual de alimentos sea la que es capaz de dar la Naturaleza de modo sostenido, ya que no tenemos cuantificada la parte que se hace a costa de reducir la productividad futura.

Esta exposición que se afronta tiene como motivación la necesidad de compartir un análisis, de aportar información a la sociedad y provocar así que los grupos de presión y decisión sean con ello lo más efectivos y lo menos demagógicos posible. La causa es la preocupación por el auténtico embrollo de conceptos que maneja la sociedad respecto a la degradación, tanto en medios de comunicación, como en grupos de opinión y presión, y que da lugar a posiciones voluntaristas, pero poco constructivas.

Se polemizan los efectos, cuando estos pueden ser descritos cualitativamente y estimados cuantitativamente. Es necesario centrar la discusión en la valoración de las causas frente a sus consecuencias. O sea, no hay que polemizar sobre los efectos de aterrizar un pastizal para su repoblación, sino describir y medir los efectos en uno y otro caso, y discutir sobre las consecuencias de la acción, en términos de si se consigue con ello bien una regeneración, o una degeneración, y en que grado; o si la rentabilidad productiva lo compensa o no.

No hay aquí intención opinar respecto al nivel de parasitismo que debemos tener de la Naturaleza, ni aconsejar que grado de presión sobre el suelo puede justificarnos el actual u otro bienestar, pero sí:

1. *homogeneizar el lenguaje a través de la definición de los conceptos a manejar*
2. *clarificar las causas y efectos con su cuantificación*

El enriquecimiento de una opinión e incluso compromiso con esta concienciación, necesita el adecuado análisis y medida de los motivos que llevan a ello, es preciso un *Ecologismo Ilustrado y Racional*, frente al integrismo ecologista, emocional y populista, que la prensa se apresura a divulgar atraída por la simplicidad de sus planteamientos.

Por consiguiente se intentará enfocar la exposición en el siguiente orden:

- 1- *definición de conceptos*
- 2- *cuantificación de causas y efectos*
- 3- *opciones de corrección*
- 4- *metodología de estimación objetiva*

No se hallarán en esta exposición grandes novedades, simplemente se describirán desde el punto de vista de la degradación, aspectos por todos más o menos conocidos como la problemática mundial, cambio climático, historia natural, edafología, erosión, hidrología, cartografía temática, ordenación del territorio y reforestación.

Como idea básica hay que tener claro que los procesos de desertificación son una relación causa-efecto entre actuaciones del hombre en el medio natural para explotación de los recursos y la reducción de la protección del suelo frente a la precipitación. Este modelo es el centro de los demás conceptos que se manejarán, y de su comprensión se derivan las actuaciones necesarias para la explotación racional, (que no tradicional), de los recursos naturales.

Analizando las causas y los efectos de la degradación, entenderemos porqué hemos llegado a nuestra situación actual, y cuales son los procesos degenerativos que se están produciendo en la actualidad. Veremos que en muchas ocasiones no ha merecido la pena en términos de bienestar, el haber sangrado a la Naturaleza, y ello ha sucedido cuando con un aprovechamiento hemos degradado el suelo de forma irrecuperable.

La civilización ha conseguido sobrevivir y en ocasiones evolucionar a mayores cotas de bienestar a costa de la degradación del medio natural, de aquí la necesidad de ponderar las actuaciones humanas en el medio para que podamos seguir aprovechándonos de la Naturaleza. Un parásito, (*Civilización*), no se suicida, convive con su huésped, (*Gaia*), y si no nos controlamos nosotros mismos por las buenas, lo hará Gaia por las malas, o pereceremos todos. Entonces tendremos el “orgullo” de nuestra carrera evolutiva como especie, habiendo pasado de ser un ente simbiótico, a parásito y por fin a cáncer.

Es fácil ser críticos con la historia, pues en nuestra sociedad occidental los procesos de desertización son consecuencia de intentar ganar mayores niveles de bienestar, no siempre a sido así y por desgracia en gran parte del mundo sigue sin serlo. En ocasiones son consecuencia de intentar simplemente sobrevivir, aún a pesar de “matar la gallina que nos da los huevos”. Por primera vez en la historia, al menos en parte del mundo, tenemos los conocimientos y la capacidad de intentar reducir los procesos degenerativos no sólo ordenando los aprovechamientos en base al análisis de la relación bienestar/impacto, sino sobretodo distribuyendo los recursos para evitar que los procesos regresivos sean una desagradable pero necesaria cuestión de supervivencia.

La utilización técnica de los conceptos, estimaciones y posibles actuaciones aquí expuestas, es sólo posible en una sociedad demográficamente estable y con un nivel de vida suficiente para permitirse el lujo de apreciar los beneficios de la conservación del medio ambiente. Si no se dan estas circunstancias, cualquier actuación que se proponga está condenada al fracaso, pues la población pondera una inversión tan importante como ésta en términos de beneficio a corto o largo plazo, frente a la posibilidad de las sociedades desarrolladas a estabilizar los beneficios que nos da un medio natural capaz de regular el agua, los alimentos y la energía que necesitamos, los materiales que utilizamos y los residuos que producimos.

No se pretende dar una receta mágica para transformar esta tragedia en drama, (en teatro se diferencian porque, siendo ambas tristes, la primera acaba mal), tan sólo dar una visión de conjunto respecto a las herramientas de las que disponemos para estimar causas y efectos, y centrando la problemática en la Europa Mediterránea, demostrar que la única acción posible es avanzar planificadamente en **Desarrollo Sostenible**.

Esta exposición intenta ser ordenada, clara y concreta para que sea divulgativa, que se lea por interés del lector en formar una opinión mejor, y no por interés del escritor en demostrar cuanto sabe de jerga, fórmulas matemáticas y cuanta bibliografía tiene en su despacho. Por ello se ha dividido en una parte divulgativa (conceptos, cuantificación y corrección), y una accesoria (Anexos), que sólo es recomendable leer si se pretende una profundización técnica en la materia, pero que se incluye por ser la base de las afirmaciones que se hacen.

Dice un proverbio árabe: *“Los Tuareg no son los Hijos del Desierto, son sus padres”*.

## **PARTE I**

### DESCRIPCIÓN

## MITOLOGÍA AMBIENTAL

**El desierto no avanza sobre nosotros, somos nosotros los que avanzamos hacia el desierto**, y a buen ritmo. El como y cuanto es lo que aquí intentaremos describir y medir.

El proceso de desertización es la consecuencia de un reequilibrio entre la capacidad de la vegetación en mantener el suelo frente a la agresividad del clima. No hay que confundirlo con una “saharización”.

Las leyendas tienen a menudo un origen cierto y una evolución falsa. En los conceptos de desertificación hay que desterrar la mitología creada y afirmaciones o creencias generalizadas que, si bien pueden tener un origen cierto, son en su enunciado falsas y desvirtúan el análisis de estos procesos:

*Si no hay bosque no llueve.*

Efectivamente la vegetación tiene un albedo (capacidad de reflexión) diferente en cantidad y longitud de onda al del suelo desnudo, y la transpiración de las plantas y su sombra crean diferencias en la humedad relativa, principalmente en el microclima. Sin embargo La Tierra gira y la circulación atmosférica hace que esta afirmación no sea cierta localmente, es decir que puede que tenga efectos a nivel macroclimático, pero no mesoclimático, salvo en determinadas circunstancias para precipitaciones convectivas, que en el entorno mediterráneo llamamos Tormentas de Verano. Si no hay bosque, la lluvia aparente para el suelo (procedente de la infiltración) es menor, y la lluvia aparente para las personas (en su mayor parte escorrentía), es mayor.

*La lluvia produce inundaciones*

Las inundaciones se producen cuando llueve con periodos de recurrencia elevados (probabilidad anual baja), a menudo como consecuencia de las acciones humanas que han provocado desertización, facilitando el incremento de la escorrentía, su energía cinética y la disminución de los tiempos de concentración de caudales. Su mayor frecuencia actual se debe únicamente a la degradación de la cubierta vegetal en equilibrio con el clima. Las consecuencias de un hipotético cambio en el régimen torrencial de un clima son despreciables frente a las de la acción del hombre sobre la cobertura vegetal, que disminuye la infiltración, aumenta la lluvia aparente para las personas y reduce el tiempo de acumulación, y por tanto los caudales máximos se elevan en cantidad y probabilidad.

*La desertización es una consecuencia del actual Cambio Climático.*

La desertización no es un proceso actual, tiene tantos siglos como la civilización. Las posibles consecuencias de un posible cambio en el régimen pluviométrico (que no termométrico), son de un orden de magnitud inferior (no comparable), que la causa real de la desertificación, que es la extracción indiscriminada de recursos sin criterios de sostenibilidad.

*La desertización es consecuencia del incremento de temperaturas.*

Es verdad que un incremento de temperaturas puede producir un aumento de la transpiración de las plantas y un cambio de valencias ecológicas que produzca un aumento de la fragilidad (riesgo de desertificación). También es cierto que puede

modificar el régimen pluviométrico y torrencial del clima, pero no tiene por qué ser a peor. Los procesos de desertificación (esterilización) son consecuencia de lo que puede el suelo tanto cuando no llueve, cuando llueve y de como llueve, no de la temperatura.

*La desertización se produce porque hay sequía.*

La “pertinaz sequía” es un elemento más definitorio de la fragilidad de un ecosistema mediterráneo, y pertenece al ciclo climático de nuestra situación geográfica. Sea o no excepcional para el ciclo normal (no está demostrado), es una circunstancia de riesgo frente a procesos de desertificación, no una causa en sí misma. Lo que sí sucede es que la notamos más por:

- la sociedad actual tiene mayores necesidades de agua
- la degradación progresiva de la cubierta vegetal incrementa la escorrentía generada en cada punto, o lo que es lo mismo, disminuye la infiltración reduciendo la humedad del suelo, la capacidad de recarga de los acuíferos y vigor de la vegetación.

Es decir para seguir considerando el mismo efecto de la sequía, nuestra manera de explotar la naturaleza implica que tiene que llover más para que la precipitación efectiva sea la misma. No es que haya más sequía, es que conforme se incrementa la degradación, estamos menos preparados para afrontarla.

*El tiempo está cambiando*

El tiempo atmosférico siempre está cambiando, y no se somete a la dictadura de las estadísticas, ni a la de los refraneros, ni a la del funcionamiento de nuestra sociedad, que considera que en Navidad debe nevar, y que el inicio de las vacaciones debe ser el inicio de las temperaturas de playa. La irregularidad propia del clima mediterráneo se superpone con los diferentes ciclos, evoluciona, e incluso actúa por azar. La capacidad humana de análisis estadístico del clima está muy por debajo de la irregularidad propia, y sea cual sea la media, mediana o moda de cualquier variable, sigue siendo sólo eso, un valor estadístico, no una realidad que de no cumplirse se le achaca directamente a un supuesto cambio climático.

*La biodiversidad es mejor cuanto mayor es la cantidad de especies presentes*

La diversidad genética es mayor en las primeras fases de evolución de un ecosistema, y a medida que madura el número de especies, y tal vez su rareza, disminuye; lo que aumenta es el valor de la diversidad, o sea la calidad y complejidad de las relaciones interespecíficas. Biodiversidad es valor de la diversidad, no cantidad, pues si se simplificara de ese modo, la máxima calidad se obtendría provocando fases colonizadoras (de mayor diversidad en especies), o sea devastando.

*El regreso a la sociedad agrícola es bueno para el medio ambiente*

La especialización de la sociedad industrial ha llevado a mayores cotas de eficiencia en la obtención de productos, y a una explosión demográfica sin precedentes. Volver atrás con la población actual, además de imposible sin coste en miles de millones de vidas, produciría una mayor presión, si cabe sobre los recursos naturales, pues su acceso sería directo por todos, y por tanto no especializado y descontrolado, ya que cada persona debería utilizar para

sobrevivir los recursos más próximos, aunque no fueran los más eficientes para la posibilidad y vocación del suelo.

*Lo natural es lo tradicional*

Lo tradicional es aplicar técnicas de extracción de recursos indiscriminadamente y por experiencia, mantener la explotación en aquellos terrenos de renta permanente (en equilibrio no degradativo con el medio), abandonando a veces incluso hasta la desertificación, los terrenos no aptos para lo que se aprovechan. El que nos hayamos acostumbrado a determinados paisajes erosivos no significa que sean ni naturales, ni buenos.

*“Algo” desertiza*

El abuso de cualquier aprovechamiento puede directa o indirectamente degradar el medio disminuyendo la productividad natural, su biodiversidad, o su estabilidad. Las patatas, los geranios, los pinos, los prados, los eucaliptos desertizan si se sobreexplotan dónde, cómo y cuándo no se debe. Una afirmación tan simple, aún siendo posible en determinadas circunstancias, es consecuencia de un análisis estúpido y falso por genérico.

Concretamente en España la desertificación es principalmente consecuencia de nuestra historia, de la sobreexplotación de recursos, del fuego y de los rebaños de ovejas y cabras; todo ello sobre un ecosistema frágil debido a la fuerte orografía y sequía estival del país. El resto son situaciones locales o de menor orden de magnitud comparativa.

**Convivimos con ella y se da tanto donde llueve mucho como poco, donde hace calor y donde hace frío, no la vemos porque no tenemos claro lo que es.**

Nuestro desierto no es amplio ni continuo, está repartido entre los cultivos en las lomas degradadas, entre las montañas en pastizales paupérrimos arañados a los bosques, en los alrededores de explotaciones mineras y de las construcciones urbanas, rurales y civiles.

**Es discontinuo y forma parte del paisaje desde siempre, en nuestra memoria histórica.**

Esta exposición no pretende ser dramática, pero la situación a la que hemos llegado lo es sin necesidad de opiniones.

*Goebbels*, Ministro de Propaganda de los Nazis, decía que *Una mentira repetida muchas veces se convierte en verdad*. Sin llegar a tanto, sí suele ser cierto con una verdad a medias, que es el segundo grado de mentira, (el tercero es la estadística). Los mitos ambientales nos están desenfocando las culpas y descargamos sobre el cielo nuestra responsabilidad, ¡cómodo pero ineficiente!

## DEFINICIÓN

Para describir procesos de degradación en el Sahel Norteafricano, en 1949 el ecólogo francés *Aubreville*, acuñó por primera vez el término desertización, (y tal vez el lugar en el que lo definía fue el inicio de confundir el proceso genérico con una de sus consecuencias, o sea, para que un territorio sea desierto no se necesitan camellos, oasis, arena, calor, ni siquiera escasez de lluvia). De hecho se da en lugares también fríos, e incluso lluviosos.

El Comité permanente de la *UNESCO* (1969-1973), definía las áreas desérticas como aquellas “*de aspecto generalmente desnudo, en que las plantas se presentan aisladas o pueden no existir*” (Clase VI de su clasificación fitosociológica), subdividida a su vez en:

### *VI.A Rocas y conos de derrubios con escasa vegetación*

#### *VI.A.1 Rocas con escasa vegetación*

*VI.A.1a Vegetación casmófito (con subdivisiones de acuerdo con los biotipos de diferentes altitudes y latitudes)*

*VI.A.1b Bromeliáceas adheridas a la roca (sólo en los neotrópicos)*

*VI.A.1c Matas de criptógamas sobre rocas*

*VI.A.1c.(1) Líquenes y musgos*

*VI.A.1c.(2) Líquenes en costra*

*VI.A.1c.(3) Algas azules (cianofíceas)*

*VI.A.2 Conos de derrubios con escasa vegetación (pendientes pedregosas fuertes, más o menos inestables, producidas por la alteración de la roca por acción atmosférica)*

*VI.A.2a De altitudes bajas y piso submontano*

*VI.A.2b De piso montano*

*VI.A.2c De piso alpino*

### *VI.B Vegetación escasa sobre arena*

#### *VI.B.1 Dunas con vegetación escasa*

*VI.B.1a Dunas con hierba alta (costeras)*

*VI.B.1a.(1) En zona tropical y subtropical*

*VI.B.1a.(2) En zona templada*

*VI.B.1b Dunas con hierba baja (la mayoría, continentales)*

*VI.B.2 Dunas desnudas (con plantas aisladas, excepcionalmente)*

*VI.B.2a Dunas móviles en clima desértico*

*VI.B.2b Dunas móviles en clima forestal*

### *VI.C Desiertos verdaderos*

En la cartografía mundial publicada en estos trabajos, se incluían tan solo los desiertos climáticos e históricos (productividad y fragilidad condicionada únicamente por la aridez extrema).

Pero las causas que llevaban a ello eran consideradas naturales, lo que no coincidía con los procesos de degradación que llevaban a paisajes desertizados como los anteriores en lugares históricamente muy antropomorfizados, por lo que se comenzó a considerar la

pérdida de suelo como otra variable que podía llevar a la misma consecuencia. La “*Carta Europea de Suelos*” (1972), estableció:

- 1-El suelo es uno de los bienes más preciosos de la Humanidad*
- 2-El suelo debe ser protegido contra la erosión*
- 3-Son necesarios mayor esfuerzo de investigación científica y colaboración interdisciplinar, para asegurar la utilización racional y la conservación de suelos*

Esta línea de pensamiento indicó lo necesario de clarificar conceptos y medir causas y efectos para opinar y decidir, tal como ya se apuntaba en 1974 en la *Conferencia de Roma*:

- 1-Aunque se sabe que la degradación de los suelos es un problema muy extendido, su distribución en La Tierra y el área total afectada sólo se conocen de manera muy aproximada*
- 2-La mayoría de las estimaciones disponibles son de naturaleza cualitativa*
- 3-No existe una metodología estandarizada, ni criterios uniformes para evaluar la degradación de los suelos ni su gravedad*

Consecuencia de ello, se ha avanzado al respecto, y concretamente en España se dispone de la *Metodología Integrada* para el cálculo de variables como Escorrentía, Erosión, Sedimentación, Caudales, a través de la adaptación de modelos matemáticos de simulación desarrollados en todo el mundo (principalmente en el *USDA* americano), cuyas bases se comentarán más adelante. Análogamente otros países cumplieron este compromiso, y ya en 1977, en la *Conferencia de Nairobi*, se admitió: “*El suelo, el agua y la vegetación forman un sistema complejo, sintetizado matemáticamente en el ciclo hidrológico y definido territorialmente por la cuenca vertiente, en la que cualquier modificación repercute en el sistema*”; y se redefinía el concepto de desertificación como proceso: “*disminución, deterioro o destrucción del potencial biológico del suelo que, en última instancia, puede conducir a condiciones de desierto*”. Se incluían así en los desiertos, las áreas desertizadas y se oficializaba el concepto amplio de desierto.

Ese mismo año la *FAO*, *UNESCO* y *OMM* revisaron la cartografía mundial de los desiertos, incluyendo las áreas desertizadas.

La “*Estrategia Mundial para la Conservación del Medio Ambiente*” (*UICN, WWF, FAO, UNESCO, 1980*), puso especial énfasis en la importancia de la conservación de los suelos como primera fuente y necesidad de producción de alimentos.

En 1980 la *FAO* publicó su “*Metodología Provisional para la Evaluación de la Degradación de Suelos*”, donde clasificaba las causas de la degradación edáfica en:

- Erosión hídrica*
- Erosión eólica*
- Salinización y sodificación*
- Degradación química*
- Degradación física*
- Degradación biológica*

A partir de 1983, organismos internacionales como el *PNUMA* y el *INCD* (*Comité de la ONU para la lucha contra la desertificación*), en sus trabajos incorporan varias

definiciones de la degradación del suelo como: “*empobrecimiento de los ecosistemas terrestres por impacto humano*” (Dregne, 1983).

De nuevo la *FAO* insistía sobre la dinámica de la degradación evaluando que los procesos de desertificación amenazan a 1/3 de la superficie terrestre, donde habitan actualmente unos 850 millones de personas, y repasando sus causas de nuevo:

*sobreexplotación de suelos pobres*  
*sobrepastoreo de suelos pobres*  
*sobretala de madera*  
*deforestación e incendios*  
*irrigación inadecuada*

En 1991 la *UNEP*, declaraba la desertificación como “*un problema global ambiental socioeconómico que afecta a ecosistemas frágiles bajo condiciones climáticas severas, que requiere especial atención*”; y alertaba contra la “*aceleración en el deterioro del suelo e incremento de los riesgos para los hábitats humanos*”. En estos estudios se afirmaba que la desertificación es uno de los más importantes riesgos ambientales de la Unión Europea, amenazando a las 2/3 partes del Sur de Europa.

Si el uso de los recursos naturales conduce a la degradación, no es posible suponer que la Naturaleza reparará el daño realizado por el hombre. Lo hecho por el hombre debe repararlo el hombre. El *Proyecto Corine*, puso en evidencia el error histórico de confiar en la regeneración natural frente a cualquier uso del suelo, enumerando las consecuencias:

*desertificación*  
*incendios forestales y deforestación*  
*abandono masivo de cultivos poco productivos*  
*intensificación de la agricultura en suelos frágiles*  
*deseccación de zonas húmedas*  
*urbanización del litoral y presión turística*  
*desaparición de especies privadas de biotopos*

O sea, los resultados de los diferentes tipos de degradación que se tratan en esta exposición. En los mapas del Proyecto (1992), se incluyen amplias áreas de la Europa Mediterránea amenazadas, describiéndolas, después de los bosques tropicales, como las más frágiles del Globo, por su “*aridez, precipitaciones irregulares e intensas, frecuentes sequías, erosión del suelo, salinización, deterioro de la estructura edáfica y de la cubierta vegetal, incendios,...*”.

*López Bermudez*, ya en España, definía en 1991 el proceso como: “*reducción de la productividad esperable de las plantas, no deseables alteraciones en la biomasa y en la diversidad de la micro y macro fauna y flora*”.

La *Conferencia de Río de Janeiro* de 1992 sobre Desarrollo y Medio Ambiente, propuso definir la desertización como “*Proceso que reduce la productividad y el valor de los recursos naturales del Planeta en el contexto específico de condiciones climáticas áridas, semiáridas y subhúmedas, como resultado de variaciones climáticas y actuaciones humanas adversas*”.

El concepto más moderno de desertización incluye la matización de considerar las condiciones climáticas más o menos tendentes a la aridez, como un aspecto (tal vez el

más importante, pero no el único), de la fragilidad de un sistema natural, y que se pone más o menos de manifiesto en función de la acción del hombre sobre el suelo.

El concepto de desertización que considera el *Proyecto LUCDEME de Lucha Contra la Desertización en el Mediterráneo*, es el de “*disminución irreversible, al menos a escala de tiempo humana, de los niveles de productividad de los ecosistemas terrestres, como resultado de la sobreexplotación, uso y gestión inapropiados, por parte humana, de los recursos en medios fragilizados por las sequías y la aridez*”.

O sea, a mayor fragilidad, menor cantidad de despropósitos en el uso del territorio necesarios para conseguir el mismo grado de degradación. Las estadísticas y previsiones realizadas por el *Programa de Medio ambiente de las Naciones Unidas (PNUMA, 1988)* en el *Plan Azul para la Cuenca Mediterránea*, las prospecciones de los programas *Medalus* y *Efeda* de la Unión Europea (1992, 1993), y las del *Instituto de Recursos Mundiales* (1992), entre otros, son pesimistas a corto plazo, ya que afirman que es muy probable que la Cuenca Mediterránea parece encaminada a un incremento de temperaturas, significativa disminución de las lluvias, acentuación de las sequías y, en consecuencia, un aumento de la fragilidad de los ecosistemas.

En 1994 dentro del *Convenio Mundial de Lucha Contra la Desertificación* celebrado en París, daba una definición más simplificada “*la degradación de las tierras de zonas áridas, semiáridas y subdesérticas resultante de diversos factores tales como las variaciones climáticas y las actividades humanas*”.

Fuera de todo convenio, el que escribe es más partidario de la simplicidad de definirlo como la *esterilización del suelo*.

Una cerámica frágil se utiliza con cuidado, ¿porqué el Medio Ambiente de la Cuenca Mediterránea se aprovecha como si estuviera en en la menos frágil Centroeuropa?.

*El Conservacionismo radical ó es antiecológica ó es antisocial.*

## CONCEPTOS

La evolución natural es un proceso de reequilibrio más o menos suave entre los ecosistemas y las circunstancias que los sostienen. Al cambio de factores climáticos, geológicos o acciones humanas sobre el medio, la Naturaleza reacciona con un reequilibrio a las nuevas circunstancias. Es la clave de su éxito. Si las modificaciones son progresivas, el proceso de reequilibrio será normalmente suave, si el cambio es drástico, la readaptación será igualmente dura. En épocas prehistóricas existen indicios de cambios traumáticos en el clima o la geología, que produjeron efectos que aún hoy son observables, los paleontólogos hablan de al menos 5 momentos críticos en la Evolución, de los que los más conocidos son la explosión de biodiversidad del Cámbrico, o la implosión en sentido contrario hace 65 millones de años, de la que se ha popularizado la desaparición de la supremacía de los dinosaurios. La Humanidad está consiguiendo obligar a la Naturaleza a un nuevo reajuste duro, lo malo es que aún no sabemos hasta que punto es traumático, (en esta exposición se darán criterios para cuantificarlo), ni cuanto nos va a cobrar por ello. **Seguro que no será gratis.**

Los estados de equilibrio pueden ser más o menos estables, y en función de ello los procesos de reequilibrio serán menos o más costosos, con lo que sumado a lo anterior, indica que lo que nos va a cobrar la Naturaleza no va a ser lo mismo para todos, sino **un precio más alto por el reequilibrio de los ecosistemas más inestables, (frágiles)**, y menor para otros. La inestabilidad ecológica de la Cuenca Mediterránea es elevada, como veremos más adelante al dar los criterios de medida de la estabilidad, por lo que tenemos todos los números para que su sobreexplotación nos siga saliendo cara, en el más amplio de sus sentidos.

Como cualquier otra ciencia, en Ecología existen distintos enfoques o escuelas, que lejos de tener que ser consideradas como enfrentadas, deben tomarse como formas diferentes de análisis de una misma realidad. Una de las posibles diferenciaciones entre tendencias de investigación genéricas podría ser entre enfoques estáticos o dinámicos, o sea, entre los que analizan los ecosistemas como lo que son, o como lo que pudieron ser y serán. El análisis de los procesos de degradación y desertización está plenamente inmerso en el enfoque dinámico de la Ecología.

Existen varias definiciones de ecosistema, y no por una valoración de las mismas, sino con criterio didáctico para el desarrollo del tema, seleccionaremos aquella que lo describe como consecuencia de las variables o factores ecológicos que lo sostienen, o sea del biotopo.

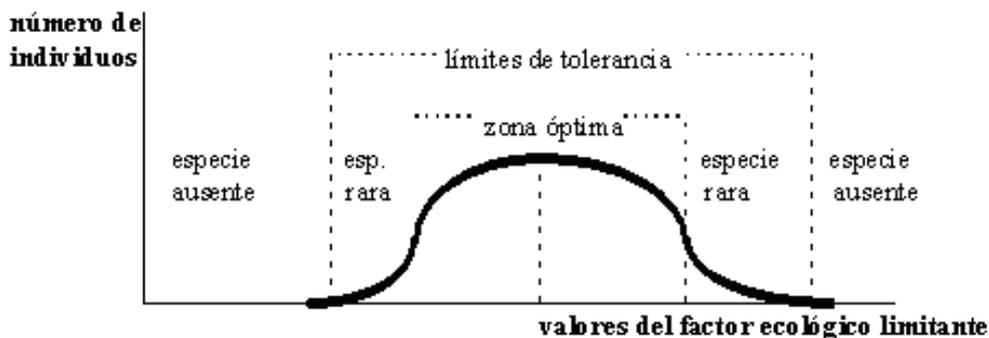
Normalmente se clasifican los factores ecológicos en base a su naturaleza o a su variación en el tiempo, de nuevo con criterio interesado para la exposición, tomaremos la clasificación de *Lawrence* ampliada, y referida a la naturaleza de las variables, que divide los factores ecológicos que generan ecosistemas, nichos y ecotipos en:

*climáticos*  
*edáficos*  
*bióticos*  
*antrópicos*

Así, similares circunstancias meteorológicas, térmicas, orográficas, tipo de suelo, evolución, aprovechamiento, presión demográfica, ... definen ecosistemas de similar productividad natural y biodiversidad, siempre y cuando:

1. *Haya habido tiempo suficiente para llegar a un estado de madurez*
2. *Exista posibilidad de ecesis (acceso) de las especies que lo componen*

Un factor concreto de los que definen un ecosistema, puede jugar el papel de factor limitante para una determinada especie o nicho. De acuerdo con este concepto, *Shelford*, ya en 1913, expresó la *Ley de la Tolerancia*, diciendo que cada organismo presenta frente a las diversas variables ecológicas, unos límites de tolerancia entre los que se sitúa su óptimo.



Por analogía con el concepto de valencia química, se llama **valencia** ecológica a la posibilidad del ecosistema para vivir en un rango cuantificable de ese factor. Si el ecosistema no puede resistir sino una valencia estrecha, se denomina estenóica, y si por el contrario su valencia es amplia, eurióica.

No todos los factores son limitantes para cada ecosistema, por ejemplo, la temperatura mínima letal de una begonia es de  $-3^{\circ}\text{C}$ , y para algunos pinos de  $-40^{\circ}\text{C}$ , y sin embargo otros factores no son limitantes más que para uno o ninguno de ambos. Otro ejemplo: algunas especies de hongos pueden vivir en un pH de ácido sulfúrico concentrado y sin embargo son extremadamente sensibles a radiaciones, por lo que necesitan oscuridad.

Así los seres vivos con amplias valencias tendrán tendencia a ser cosmopolitas.

En ocasiones las valencias ecológicas actúan de modo sinérgico. En un prado de siega, se requiere más cantidad de agua para prevenir la marchitez si los niveles de nitrógeno en el suelo son bajos, (después de una quema).

Por otra parte la valencia no es constante durante la evolución de los individuos ni ecosistemas, y así en temporada de reproducción típicamente se reducen las valencias, es más los valores óptimos de los factores no coinciden en desarrollo y reproducción, lo que explica la *Teoría de los Estadios*, que interpreta así las migraciones estacionales de las aves, o razona porque los crisantemos dan flores todo el año en regiones ecuatoriales y sólo en Otoño en nuestras latitudes.

Dentro de la misma especie se pueden distinguir ecotipos que a su vez es posible definir por la variación de su valencia ecológica.

*Férrnandez Ales (1984)*, considera los factores del medio como:

*limitativos, que limitan la producción primaria (radiación, temperatura, disponibilidad hídrica, nutrientes,...)*  
*organizativos positivos (autoorganizativos), que tienden a crear estructuras biológicas que favorecen la fotosíntesis, disminuyen la dependencia de factores limitativos o mejoran la eficacia reproductora (crecimiento, sucesión,...)*  
*organizativos negativos (desorganizativos), que aumentan la dependencia de los factores limitativos (predación, explotación natural, intervención humana,...)*

Así naturalmente los factores limitantes definen el máximo desarrollo posible del ecosistema, pero también pueden estar condicionados por los desorganizativos.

Cuando alguno de los factores se modifica, el ecosistema variará en función de sus valencias hasta un nuevo equilibrio. Si el proceso de readaptación a las nuevas condiciones implica una reducción de la Capacidad del ecosistema en mantener la biomasa y biodiversidad, será un proceso de reequilibrio regresivo, o **Regresión**.

Los usos de los recursos del medio por el hombre implican siempre cierta regresión, pues cuando menos provocan una necesidad de regenerar, sin embargo no es costumbre humana el medir las consecuencias a largo plazo de nuestras acciones.

Si se elimina una dehesa extremeña llana para la producción de cereal se produce una regresión antrópica directa, sin embargo, si se da la circunstancia de que la capa profunda del suelo es impermeable, al eliminar las raíces de los matorrales y árboles que lo rompen, los cultivos pierden capacidad de aprovechamiento de agua que no drena, hasta que su rentabilidad produce su abandono, o sea hasta la regresión irreversible.

Vemos en el ejemplo anterior dos tipos de irreversibilidad, en ambos casos la biodiversidad se reduce, pero en uno la Capacidad se estabiliza y en otro degenera.

Entenderemos por **Degradación** a aquel proceso de reequilibrio regresivo y pérdida de capacidad, de carácter permanente e irreversible, al menos en términos de cronología humana, (generaciones).

La *Ley del Mínimo* establece que la evolución de un ecosistema está limitada por el factor ecológico más escaso, y del mismo modo que se clasificaban las variables ecológicas, los procesos de desertización se pueden clasificar por el factor crítico que los produce:

**Regresión y Degradación Climática**, consecuencia de los cambios climáticos, como pueda ser la reducción de la pluviosidad, incremento de la torrencialidad, radicalización de los regímenes termométricos, variación de los vientos,...

*Subvariables: régimen pluviométrico*  
*régimen termométrico*

**Regresión y Degradación Edáfica**, consecuencia de la acción del agua sobre el suelo y de su capacidad de escurrir y drenar

*Subvariables: erosión y transporte de partículas del suelo*  
*destrucción de la estructura interna*

**Regresión y Degradación Biótica**, consecuencia de la reducción de la variedad y riqueza de nichos, llegando incluso a la extinción de especies

*Subvariables: biodiversidad*

*biomasa*

**Regresión y Degradación Antrópica**, consecuencia de la presencia humana y construcciones civiles

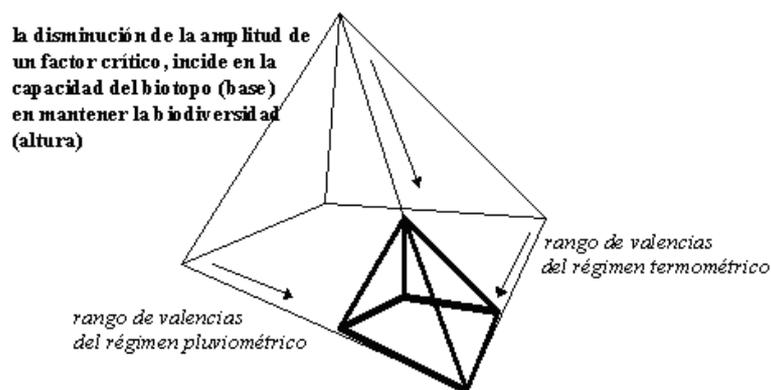
*Subvariables: presión demográfica*

*calidad de vida*

Como idea didáctica, pensemos en cuantificar a un ecosistema como una pirámide trófica que lo definiera en función de su base, o capacidad productiva del nicho (productividad); y su altura, o grado de evolución de los nichos (biodiversidad). En un caso simple en que los factores limitantes fueran dos de los anteriores, una base cuadrada representaría ambas subvariables o lados.

En cualquiera de los tipos de regresión o degradación expuestos, la reducción de una de estas subvariables (lados), disminuye en un orden de magnitud mayor la base sobre la que se sustenta, (su efecto no es de resta, sino de división).

A menor base, disminución del crecimiento de la biomasa (o productividad), se divide la capacidad del ecosistema en mantener los nichos. Cada piso de la pirámide aprovecha hasta del orden del 10% de la energía contenida en el piso inferior. Con una base a la que se le reducen los lados, se divide en consecuencia su área, y al ser el gradiente de asimilación de energía aproximadamente constante, se divide también la altura, o sea la cantidad de biomasa, (volumen de la pirámide), y diréctamente se reduce drásticamente la productividad y biodiversidad. O sea, una pequeña variación de un factor limitante produce efectos exponenciales en el ecosistema. Llegamos así al concepto de **Capacidad**.



Entenderemos por **Capacidad**, la posibilidad de producción natural cuantitativa, (crecimiento o productividad de la biomasa), y cualitativa, (biodiversidad), de un ecosistema; o sea, la Regresión se puede así redefinir como reducción de la Capacidad.

Priorizando, la regresión biótica es una consecuencia de las anteriores. Tal como está definida, sería aquella que es origen directo de la reducción de la biodiversidad, (como la caza furtiva de especies en vías de extinción), o de reducción de biomasa,

(urbanización), aunque indirectamente tendrá su origen en cualquiera de las otras. Pensemos solamente en las superficies ocupadas por cemento o asfalto en las sociedades desarrolladas, o sin necesidad de ello y atendiendo a cifras concretas, tan solo la construcción de viviendas rurales en China ocupa 400.000 hectáreas al año.

Desde el momento en que el hombre se alimenta en un 90% de 15 especies de plantas y 8 de animales, nuestra mera existencia implica una regresión en el mejor de los casos al menos cualitativa (biodiversidad).

Pero biodiversidad es un término en ocasiones desvirtuado por interés o comodidad del que lo usa, dada su reciente popularidad, y que es preciso definir correctamente.

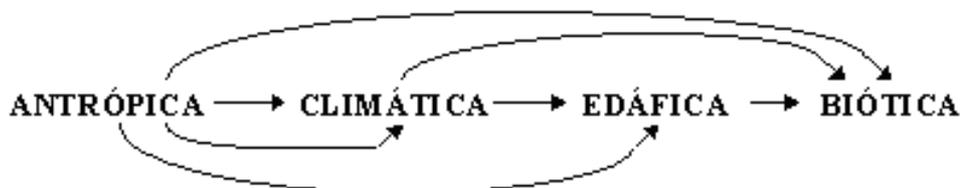
Biodiversidad no es sólo que haya muchas especies, y lo más raras o endémicas posible, implica una **valoración** también de consideraciones de reproducción, estabilidad, madurez y complejidad, tanto entre especies respecto a su ecosistema, como entre la multiplicidad de las biocenosis respecto a su entorno ecogeográfico global.

**Biodiversidad es concepto de valor, Diversidad concepto de cantidad**, y es preciso no confundirlos, pues la vegetación de cualquier cuneta es más diversa que la de un encinar, pero tienen diferente valor.

El Convenio sobre Diversidad Biológica de 1992 define el concepto como *la variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente, incluidos entre otros casos, los ecosistemas terrestres y marinos y otros ecosistemas acuáticos y los complejos ecológicos de los que forman parte; comprende la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y de los ecosistemas*. Sin embargo ésta definición no puede trasladarse a unidades de territorio pequeñas, pues se refiere a macrosistemas como puedan ser selva tropical, bosque mediterráneo,... O sea suficientemente **amplio para que exista representación de los diferentes estados de regresión y progresión**. La aplicación a un metro cuadrado, hectárea o a la unidad que se use para comparar ecosistemas falsea cualquier conclusión que no considere su valor, ni su situación en una serie progresiva o regresiva.

Existe disparidad de criterios científicos a la hora de **cuantificar su valor**, pues cada autor tiende a ponderar las distintas subvariables (diversidad, abundancia, rareza, amplitud, reproducción,...), según la subjetividad de su entorno. Esta circunstancia provoca que no sea fácil comparar numéricamente diversos análisis en lugares y por autores distintos (*Ver Anexo de Biodiversidad*).

Podemos establecer así una graduación atendiendo a la causalidad directa o indirecta de los tipos de regresión:



La regresión y degradación antrópicas son causa de las demás, y se entenderá por **Desertización**, como la degradación edáfica ya sea directa o indirectamente por causa climática o antrópica, o sea, la pérdida irreversible de la Capacidad (consecución de la esterilidad edáfica).

Nada es irreversible, todo es cuestión de tiempo, salvo tal vez la extinción de una especie, (aunque si se regenera el nicho, la Naturaleza especializará a otra especie para

ocuparlo). Una misma reducción de un factor crítico o limitante no genera sobre dos ecosistemas distintos la misma reducción de Capacidad, es más, si se restituye a su valor anterior, la velocidad de regeneración de la Capacidad es muy diferente, (en la imagen didáctica anteriormente propuesta, la pirámide trófica recuperaría su base, pero el tiempo en volver a su altura dependerá de lo delicado que sea el equilibrio).

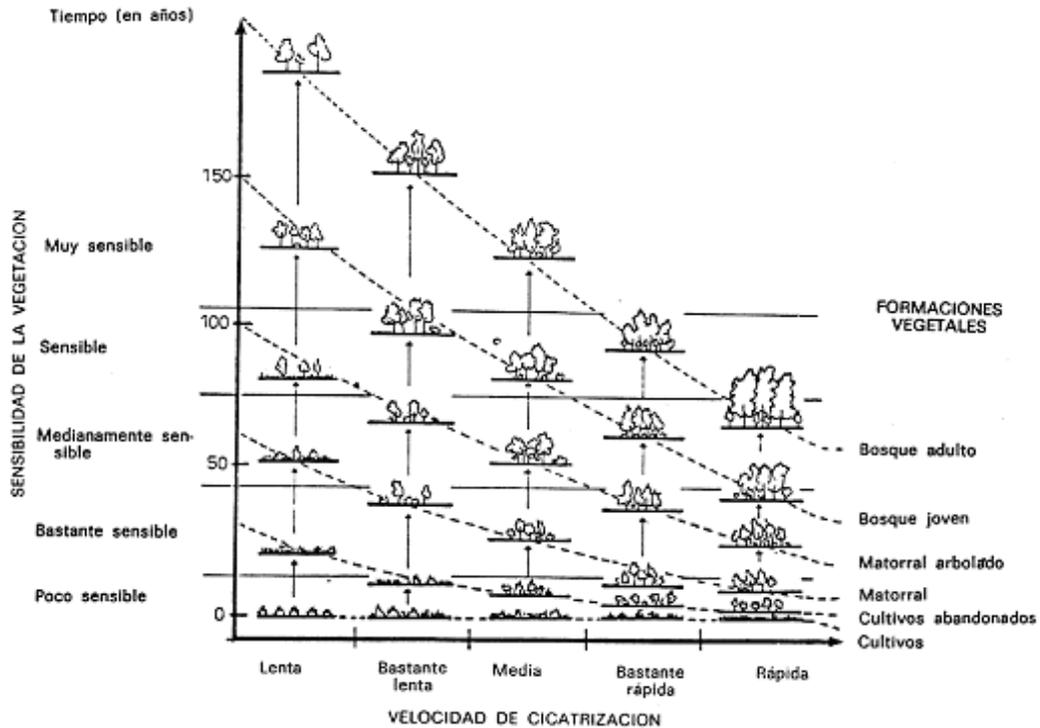
Llegamos así a la definición de un nuevo concepto, la **Fragilidad**, que es la inestabilidad de la degradación, en relación directa con la capacidad de regeneración del ecosistema; o dicho de otro modo, **la fragilidad es la probabilidad de disminución de la Capacidad**, se haga efectiva o no. No tiene la misma repercusión degenerativa un incendio en un pinar de pino canario en llano, pues rebrota de cepa, que en un pinar mediterráneo en pendiente, aún teniendo la misma productividad.

Diferenciaremos dos aspectos complementarios de la fragilidad:

Resistencia del medio a la regresión o **Resistibilidad**, *J. Ruiz de la Torre* (1976) pasa revista a las condiciones que la favorecen:

- *Carácter autóctono*
- *Adecuación al ámbito mesológico (valencia edáfica optimizada)*
- *Autocontrol del sistema por los mecanismos homeostáticos*
- *Control recíproco de organismos antagónicos*
- *Progresión avanzada en la serie evolutiva*
- *Biodiversidad elevada, (según Margalef (1974), la diversidad es inversamente proporcional a la persistencia)*
  - *Reproducción mixta de especies principales, o alternativas reproductivas como puede ser la regeneración de los quercus por semilla y brote*
- *Aislamiento en el espacio y el tiempo*
- *Divergencia de límites, Westhoff (1977) diferencia:*
  - *“limes convergens”, concentración espacial e inestabilidad en el tiempo*
  - *“limes divergens”, dispersión espacial y estabilidad temporal*
- *Atactotitia, o distribución desordenada de los nichos*
- *Estabilidad de los recursos hidráulicos:*
  - *regulación de escorrentía*
  - *oligotrofia de aguas libres*
  - *tasa inapreciable de caudal sólido (sedimentos)*
- *Madurez del suelo*
- *Ausencia de erosión*
- *Permeabilidad del suelo*
- *Explotación equilibrada con la producción*

Capacidad de Regeneración o **Reversibilidad**, *Godron y Poissonet* (1973) definían la rapidez de cicatrización como las diferentes aptitudes del medio para producir en un tiempo dado una cierta biomasa.



En España *Coplaco* (1975) definía las velocidades de cicatrización en 5 tipos:

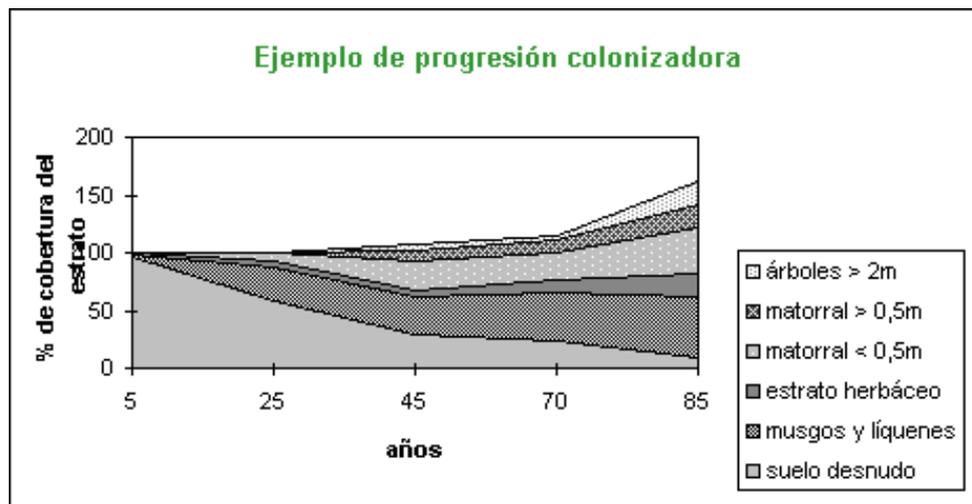
- Nula*..... > 1.000 años
- Muy difícil*..... 100/1.000 años
- Difícil*..... 30/100 años
- Fácil*..... 10/30 años
- Total*..... < 10 años

Cuando hablamos de **irreversibilidad** en términos de cronología humana para diferenciar Regresión de Degradación, en realidad estamos estableciendo una separación entre las tres últimas y las dos primeras, y pudiera matizarse dentro de ambos conceptos diferentes grados de fragilidad y desertización en base a la tabla anterior.

Con el fin de identificar sintomáticamente esta velocidad al intentar valorar la fragilidad de un ecosistema, puede ser útil el analizar las velocidades de progresión de los factores origen y efecto de su evolución. Para ello a partir de los análisis de *J. Ruiz de la Torre* (1976), pueden catalogarse las variables que caracterizan la mejora de la velocidad de progresión de los ecosistemas en:

- Mayor independencia y diferencia del resto de ecosistemas.
- Incremento de la biodiversidad
- Disminución de la dominancia de unas especies respecto a otras
- Mayor homogeneidad en el ecosistema
- Especies más exigentes en calidad de biotopo
- Incremento de la dinámica y complejidad de las interrelaciones.
- Acumulación de energía y materiales inertes.
- Vegetación de mayor talla, densidad y sistema radical, con tendencia a estabilizar el ciclo anual y reducir el periodo de actividad vegetativo
- Mayor actividad metabólica, transpiración

- Reducción de la presión osmótica de las hojas y concentración de aceites esenciales.
- Reducción de la diseminación y potencia germinativa de las plantas, aumento de la tasa de renovación vegetativa, y mayor éxito en la pervivencia del repoblado.
- Mayor crecimiento y tamaño; menor vida, grosor y protección de las hojas
- Menor espinosidad de las ramas.
- Aumento de la protección de la vegetación: índice foliar, espesor de la cubierta, número de estratos, mayor sombra y color más oscuro del exterior.
- Enriquecimiento del suelo, diversificación, aumento de espesor y de evolución de los horizontes edáficos, neutralización de la reacción del suelo (pH), aumento de la permeabilidad.
- Reducción de la escorrentía superficial e incremento consecuente de la pluviosidad efectiva y por tanto de especies más exigentes en humedad
- Red de drenaje menos densa, sinuosa y encajada, con canales más cortos.
- Microclima con menor oscilación térmica (diaria y anual), menor temperatura media anual, mayor humedad relativa, y regularización general del clima local.
- Pendientes más suaves
- Disminución de la erosión.
- Disminución de la fragilidad y aumento de la productividad hasta llegar al clímax, invirtiéndose el gradiente al envejecer el ecosistema.



*Desarrollo de la vegetación en morrenas de distinta edad del glaciar de Aletsch (Suiza), según Lüdi.*

Hasta ahora hemos definido conceptos como Regresión, Degradación, Capacidad, Reversibilidad, Resistibilidad y Fragilidad, y si bien hemos enunciado los factores medibles Causa, precisamos identificar las variables medibles Efecto. Se basan en la **Productividad** o capacidad de generación de biomasa, y en índices de biodiversidad. Entendamos Productividad en su sentido amplio y no económico, y **Biodiversidad** como valor de la diversidad de especies y ecosistemas.

**La Regresión y la Degradación (regresión hasta la esterilidad), pueden medirse al ser la diferencia entre las Capacidades (productividad de la biomasa e índice de biodiversidad), en circunstancias comparadas de vegetación clímax y real. La Fragilidad puede medirse en términos de probabilidad, o diferencia de estabilidad**

**entre situaciones reales y potenciales de la productividad e índice de biodiversidad.**

Es posible pues describir y medir con este criterio dichas variables.

En el caso de utilización productiva del medio: agrícola, ganadera, forestal o urbana, la productividad se traduce en recursos extraídos (cereal, carne, leche, frutos, madera, resina, caza, viviendas,...). A esa parte utilizable de modo sostenible se le denomina **Posibilidad**, que se diferencia de la **Producción** en que esta puede no utilizar criterios de mantenimiento de la productividad a largo plazo.

En los procesos de regresión y degradación, describiremos aquí aquellos que se refieren a grandes superficies de suelo, y como instrumento de análisis es útil hablar de asociaciones vegetales, como descriptoras de ecosistemas en un aspecto amplio del término.

Así como los individuos son clasificables taxonómicamente, del mismo modo lo son las asociaciones vegetales en una escala taxonómica jerarquizada en:

*División (-ea)*

*Clase (-etea)*

*Orden (-etalia)*

*Alianza (-ion)*

*Asociación (-etum)*

*Subasociación (-etosum)*

*Variante.*

Las asociaciones vegetales, como unidad de identificación de ecosistemas, pueden presentar diferentes estados de regresión y clímax. Así podemos diferenciar entre estos últimos (*Shimwell*, 1971):

*Euclímax*, clímax perfecto a juicio del observador (subjetivo)

*Clímax*, equilibrio permanente entre vegetación, suelo y clima

*Paraclímax*, clímax por cambio no definitivo del equilibrio (ciclos)

*Subclímax*, clímax con un impedimento permanente

*Plagioclímax*, subclímax edáfico

*Disclímax*, subclímax de vegetación no autóctona

*Plesioclímax*, asociación a la que se llegaría con 100 años de acotamiento a actuaciones humanas

*Postclímax*, asociación remanente de anteriores clímax, aunque hayan cambiado las condiciones

Si bien se prefiere habitualmente la palabra clímax frente a euclímax, en puridad debiera ser ésta última la más normal, pues apenas existen ya enclaves no afectados por el hombre. Maurice Cavalle, en 1955 publicó la *Muerte de la Naturaleza*, y entre otras cosas escribía “*Hace un millón de años La Tierra estaba caracterizada por un salvajismo generalizado.... Había pequeños enclaves habitados por el hombre..... Hace trescientos años, en Francia e Inglaterra, las grandes ciudades del hombre estaban*

*aisladas por hectáreas de tierra salvaje.... Hace cien años, en los últimos días de los grandes exploradores europeos, la naturaleza había disminuido tan radicalmente que era una novedad.... Hoy estamos rodeados por el hombre y sus creaciones. El hombre es ineludible en todas partes del Globo, y la Naturaleza es una fantasía, un sueño pasado, que hace mucho ha desaparecido”.* Incluso en nuestros Parques Nacionales más admirados existe agricultura, ganadería y selvicultura (eso sí, ¡sostenible!)

Reenunciando los conceptos de regresión y degradación edáficas, llamaremos a la primera como un reequilibrio entre clímax y paraclímax, y a la segunda entre clímax y plagioclímax.

Con ello hay que destacar una noción básica: no es lo mismo un ecosistema en euclímax, que en plagioclímax. Así actualmente en la Cuenca Mediterránea numerosas superficies podrían ser clasificadas como euclímax *Quercetum Ilex* (encinar), pero como consecuencia de los reiterados incendios y pastoreo de cabras y ovejas, se ha llegado a tener un estado de degradación elevado, con la mayor parte del suelo arrastrado y ser en realidad un plagioclímax *Pistacetum Lentiscus* (garriga), o incluso un disclímax de *Pinetum Canariensis* (pinar no autóctono).

No es realista considerar la regeneración de ecosistemas de forma drástica, sólo puede hacerse por pasos en imitación a la propia Naturaleza. O sea, puede ser romántico y deseable repoblar el Levante español de encina, pero como solución genérica es contraproducente, y además de no poder ser, es imposible a un coste asumible.

Un encinar no es la suma de encinas; es una muy compleja interrelación de seres vivos entre si y con su biocenosis, que necesita de mucha paciencia para restablecerse. La encina representa a unos determinados ecosistemas, pero no los crea con sólo su presencia.

Cada unidad taxonómica geobotánica tiene su Sucesión y su Regresión, o sea, aquellas asociaciones que dispuestas secuencialmente en el tiempo llevan a una asociación clímax, o viceversa. A esa disposición sucesiva o regresiva de asociaciones se les denomina Series.

Según *Shimwell* (1971), la evolución en el tiempo de un ecosistema se pone de manifiesto por cambios en su estructura y organización, debidos a funciones esenciales:

*iniciación*  
*selección*  
*continuación*  
*terminación*

que están sucesivamente bajo la influencia de procesos interactivos:

*cambios en el suelo*  
*migraciones*  
*écesis o posibilidad de acceso*  
*competición y estabilización*

Las Series positivas comienzan con especies pioneras en suelos azonales, tal vez musgos y gramíneas anuales, que al tiempo que ayudan al clima a la descomposición de la roca madre, aportan materia orgánica para fijar arcillas y con el agua comenzar a formar el complejo del suelo. Al disponer de más agua aprovechable, plantas colonizadoras siguen con el proceso y progresivamente se incrementa la fertilidad

(productividad). De herbazal puede pasarse con el incremento de la profundidad y calidad del suelo a matorral, bosque claro, y bosque complejo; siempre y cuando las circunstancias geológicas, orográficas y climáticas lo permitan (factores limitantes), como pudiera suceder en biotopos salinos, encharcados o de alta montaña, por poner ejemplos representativos de cada motivo.

Expongamos un caso próximo de signo contrario, que es el de una serie regresiva mediterránea genérica:

1. Bosque clímax, compuesto de encina y ocasionalmente pino, en espesura completa, predominando casi siempre la primera, sobretodo en exposiciones de umbría. Sotobosque formado por brotes de cepa de la encina, y algunos matorrales dispersos como madroño, lentisco, laurel, jara,... Cerca de los cauces más regulares se disponen olmos, sauces, álamos, alerces, chopos,...
2. Bosque paraclímax, (por ejemplo por un incendio), el pino carrasco por su temperamento más heliófilo, ha colonizado la regeneración, y predomina frente a la encina, principalmente en las exposiciones de solana. El lentisco, jara, bog, y algunas ericáceas son abundantes en el sotobosque, que comparten con encinas de porte achaparrado. *Regresión y aumento de la fragilidad.*
3. Bosque subclímax, (por ejemplo por sucesivos incendios, y/o carboneo ocasional), encina achaparrada, pinar claro con abundante matorral, sobretodo lentisco y jara. Los procesos erosivos han empobrecido y reducido la profundidad del suelo y afloran rocas. *Degradación y fragilidad elevada.*
4. Garriga, (por ejemplo por sucesivos aprovechamientos de quema del matorral y pastoreo extensivo en Otoño), matorrales de 1 o 1,5 metros, principalmente de jara, lentisco y brezo. Ocasionalmente crecen encinas y pinos de porte achaparrado y dispersos. Abundancia de plantas aromáticas. Se presentan claros en la cobertura del suelo por la vegetación. En parte del suelo aflora la roca madre y en el resto la profundidad es muy escasa, del orden de 0,3 metros. *Desertificación y fragilidad muy alta.*
5. Matorral mixto y diseminado, con presencia dispersa de lentisco, jara, enebro, palmito, tomillo, romero, carrizo,... La cobertura del suelo por la vegetación es irregular e insuficiente. En la mayor parte de la superficie aflora la roca madre, quedando suelo sólo en función de la forma de esta. *Desierto, que no Sahara, pues no existe productividad, y fragilidad extrema.*

Existe abundante investigación y clasificación fitosociológica de la geografía española, y es posible llegar a mayores detalles taxonómicos cuanto más concreta se defina la zona, sin embargo como resumen genérico se incluye aquí las fases regresivas de *Ceballos*, en base a las especies fitosociológicamente representativas.

### ***Fase regresiva***

<i>Bosque denso</i> Fagus sylvatica	<i>Bosque y matorral</i> Ilex aquifolium Rhamnus alpina Sorbus aucuparia Fraxinus excelsior Sambucus racemos.	<i>Bosque y legumin.</i> Vaccinium myrtillus Genista hispanica Erica vagans Rubus idaeus	<i>Matorral heliófilo</i> Buxus sp. Erica sp.	<i>Pinar</i> Pinus sylvestris	<i>Matorral coloniz.</i> Calluna vulgaris
Castanea sativa	Acer pseudo Coryllus avellana	Adenocarpus grand Genista florida Cytisus sp.	Pteridium aquilinu Ulex boirini	Pinus pinaster	Cistus sp.
Quercus robur	Rhamnus frangula Ilex aquifolium Acer pseudoplatan Pirus communis	Genista sp. Ulex europaeus Vaccinium myrtillus Erica arborea	Ulex sp.	Pinus pinaster Pinus sylvestris	Genista sp. Sarthamnus sp.
Quercus petraea	Acer opalus Tilia platiphyllus Prunus mahaleb Ligustrum vulgaris Sorubus aucuparia	Coronilla emerus Cytisus sessiliflora Daphne gnidium Clematis flammula Lonicera etrusca	Buxus sempervirens Pteridium aquilinu	Pinus sylvestris Pinus nigra	Cistus monspeliens Calluna vulgaris
Quercus canariensis	Rhamnus frangula Laurus nobilis Phillyrea	Citius triflorus Viburnum tinus Sarthamnus	Inula viscosa Pistacia lentiscus Erica arborea	Pinus pinaster	Cistus laurifolius Cistus ladanifer
Quercus pyrenaica	Acer camestre Acer monspessulan Sorbus aria Grataegus monogyn	Genista florida Rubus discolor Genista sp. Adenocarpus Rosa canina	Arctostaphylus uva Sarthamnus sc	Pinus sylvestris Pinus nigra Pinus pinaster	Cistus laurifolius Cistus ladanifer
Quercus faginea	Fraxinus angustifol Amelanchier ovalis Crataegus monogyn	Viburnu thymus Lonicera hispanica Adenocarpus int Spartium juncium	Genista sp. Sarthamnus scop.	Pinus sylvestris Pinus nigra Pinus pinaster	Cistus laurifolius Cistus ladanifer
Quercus suber	Arbutus unedo Rhamnus alaternus Phyllirea media	Myrtus communis Cytisus sp.	Erica umbellata Erica australis Quercus coccifera	Pinus pinaster	Cistus monspeliens Cistus ladanifer Cistus salvifolius Cistus populifolia Halimium ericoce. Cistus ladanifer Cistus laurifolius
Q. ilex en silíceo	Fraxinus angustifoli Arbutus unedo Juniperus oxycedru	Ruscus aculeatus Lonicera etrusca Daphne gnidium Rosa sempervirens Genista florida	Retama sphaerocar.	Pinus pinea Pinus pinaster	
Q. ilex en calizo	Ceratonia siliqua Celtis australis Juniperus phoenice Pistacia therebintus	Coronilla glauca Spartium juncium Anthyllis cytisis Smilax aspera Jasminum fruticoso	Pistacia lentiscus Rosmarinus officin. Quercus coccifera	Pinus halepensis Pinus nigra	Cistus albidus Cistus libanolicus

### *Fase degradativa*

	Pinar	<i>Matorral degrad.</i>	<i>Herbazal degrad.</i>	<i>Pseudoestepas</i>	<i>Desierto</i>
(hayedo)	Pinus sylvestris	Genista horrida Sarthamnus Juniperus communi Erinacea anth	Achillea-Helleb.	Nardus stricta	
(castañar)	Pinus pinaster	Genista triac Prunus spinosa Lavandula stoeches Thymus mastich Calluna vulgaris Juniperus communi	Dianthus-Hip Rumex	Cynosurus Brom. Aira	
(roble dal)	Pinus pinaster Pinus sylvestris	Erica umbellata Calluna vulgaris Pterospartum triden	Agrostis Nardus	Corynephorus	
(roble dal)	Pinus sylvestris Pinus nigra	Lavandula vera Thymus vulgaris Genista scorpius Erinacea anthyllus Fumana proc. Aphyllantes monsp	Teucrium po. Plantago.scleranthu	Bromus Koel Festuca Brachypodium	
(quejigar)	Pinus pinaster	Calycotome vill. Ulex scaber Rhamnus oleoid. Thymus mastich.	Senecio-Carduus	Brachypodium Piptatherum	
(rebollar)	Pinus sylvestris Pinus nigra Pinus pinaster	Lavandula peduncu Thymus mastich Calluna vulgaris Juniperus oxycedr Juniperus commun Genista scorpius Helichrysum stoech	Asphodellus Andryala	Corinephorus Festuca Nardus	
(quejigar)	Pinus sylvestris Pinus nigra Pinus pinaster	Rhamnus infect Prunus spinosa Genista scorpius Santolina rosmarin Lavandula latif. Lavandula peduncu Satureja obovata Thymus zigis	Thapsia Vervascum	Corinephorus Festuca Stipa	
(alcornocal)	Pinus pinaster	Lavandula stoeches Ulex parvifolius Calluna vulgaris Lighospermum fr.	Pillicaria Aspar Rumex Brachypodium	Andropog Aira Vulpia	
(encinar silíceo)	Pinus pinea Pinus pinaster	Artemisia glutin Helichr st Santolina rosmarini Lavandula peduncu Thymus zigis	Filago Andryala Eringium	Stipa Coryneph Bromus	
(encinar calizo)	Pinus halepensis Pinus nigra	Pholmis lychnites Tucrium capit Lavandula vera Rhamnus lycioid Ruta bracteosa	Euphorbia Plantago	Brachypodium ram Stipa tenacissima	

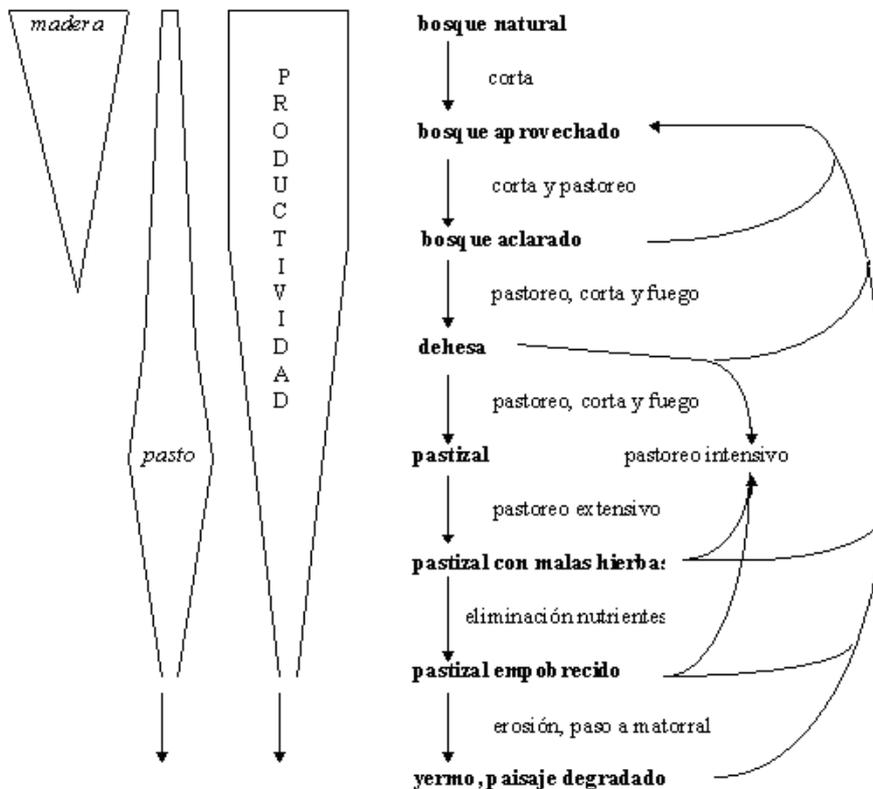
Como vemos, la fase de pinar puede ser un estadio final o inicial de la regresión (también lo puede ser un matorral espeso), en el que se mantiene casi intacta la productividad, no así la biodiversidad.

Dentro del enfoque de análisis ecológico dinámico, las conclusiones y conceptos que manejan diferentes autores solamente difieren en los ejemplos que usan, pues se refieren a sus entornos naturales, con las especies correspondientes, sin embargo todos tienen un enfoque común de dinámica positiva y negativa.



Degradación del bosque esclerófilo mediterráneo y del perfil del suelo correspondiente, a consecuencia de la explotación humana excesiva (corta, incendio y pastoreo) y de la erosión: a- monte bajo (maquia) con encina; b-garriga con coscoja; c- pastizal pedregoso; d- yermo rocoso cárstico. El perfil completo del suelo reduce progresivamente la profundidad, diferenciación y productividad (*Braun-Blanquet*)

**FASES REGRESIVA Y DEGRADATIVA POR SU PRODUCCIÓN**



Ellemborg, 1973: "El aprovechamiento extensivo del bosque y del pastizal conduce al yermo y disminuye la producción; en cambio, una selvicultura y una pascicultura separadas e intensivas permiten mayores posibilidades de madera y forraje

El objetivo de esta exposición no es desarrollar todos los procesos de degradación, sino tras tener una visión global de su encuadre, concretar los conceptos y su cuantificación de los que se refieren al suelo, o sea, a los procesos de Desertización:

- Regresión o degradación climática directa, que se verá someramente en el tema de *Ciclos y Cambios Climáticos*, como causas de variaciones en la fragilidad.
- Regresión o degradación antrópica indirecta, como causa de la especial virulencia actual de la degradación edáfica directa: **Desertificación**, o esterilidad provocada.

Así pues, después de describir los conceptos básicos de Degradación, analizaremos las causas y efectos de la Desertización en mayor detalle, dedicando la mayor parte de la exposición al análisis y medida de la Desertificación, pues ahí la conciencia social, con suficientes argumentos, puede ser útil para provocar acciones que nos lleven a abaratar, la factura que nos cobra la Naturaleza.

El desierto no es otra cosa que el estado de productividad del ecosistema tal que no es capaz de protegerse a sí mismo frente a los naturales caprichos del clima. La desertización es el proceso que lleva a esta circunstancia, ya sea por causa climática, edáfica o humana (en este último caso desertificación).

Todavía no hemos iniciado la descripción pormenorizada de las causas (sobreeplotación), y efectos (disminución de la productividad y aumento de la fragilidad), de la Desertificación, pero ya podemos centrar con estos conceptos el planteamiento de la opinión o decisión.

Para tener una buena respuesta, es necesaria una buena pregunta. Para una correcta opinión, un correcto planteamiento. Para defender con efectividad una postura, unos buenos argumentos. Para unos buenos argumentos, una buena información, y aún mejor si es cuantificable. Lo que no es medible es discutible, lo que sí, sólo matizable.

Todo cuesta algo, y el desarrollo de la sociedad también, el planteamiento de la polémica sobre el nivel de degradación que puede, quiere, o debe asumir la sociedad es lo que cada uno opine respecto al precio: caro o barato, hasta llegar a un precio justo, en su sentido amplio y no sólo económico de la palabra.

Para que cada uno opine sobre el precio que debemos pagar a La Naturaleza es preciso identificar dos casos y definir dos precios:

- Nivel de presión humana sobre el medio para la supervivencia
- Nivel de presión humana sobre el medio para mayores cotas de bienestar

En el primer caso no se discute el nivel de Desertificación admisible por quien lo necesita, sino el nivel de sacrificabilidad de suelo admisible por parte del resto de la Humanidad.

En el segundo se discute el valor de la relación bienestar/impacto, por cuantificación del nivel de bienestar, (tal vez a través de la renta), frente al nivel de pérdida de productividad.

Pongamos unos ejemplos ilustrativos (y tal vez provocativos):

## *1-Tala de una zona boscosa para dedicarla al cultivo en el Amazonas.*

### *Circunstancias:*

*Lluvias abundantes y torrenciales  
Suelos arenosos (y por tanto, secos)  
Gran biodiversidad  
Aprovechamientos no ordenados  
Fuerte presión demográfica  
Muy escasa renta*

### *Condicionantes:*

*El régimen de pluviométrico y termométrico permite altas productividades, tanto en biomasa como en biodiversidad. La capacidad de retención del agua por la vegetación y por su materia orgánica en descomposición sustituye las carencias del suelo al respecto, (síntoma de fragilidad)  
Los suelos son pobres y la reserva de nutrientes está en la vegetación y en el complejo húmico.  
El fuego volatiliza algunos de los nutrientes (principalmente el nitrógeno), descompone a sales solubles el resto y elimina la capacidad de retención del agua por el horizonte A  
Al quemar y eliminar la vegetación sobre un suelo arenoso, se permite a la abundante lluvia erosionar directamente el suelo y lavar los nutrientes solubles, disponibles a discreción, empobreciendo el suelo  
La consecuencia puede ser un proceso incluso de desertificación (esterilidad edáfica), y provocar que en pocos años el empobrecimiento del suelo obligue a abandonar el cultivo*

### *Planteamiento:*

*Definir el nivel de biomasa y biodiversidad, (Capacidad)  
Estimar ambas subvariables en cultivo, (Posibilidad)  
Estimar el grado de regresión: ¿se llega a la degradación? (Infertilidad)  
Estimar la estabilidad del nuevo ecosistema, (Fragilidad)  
Estimar el beneficio de la actuación, (Rentabilidad)*

### *Opiniones:*

*Si la fragilidad es estable y no se llega a la degradación, ¿la diferencia de productividades forestal y agrícola justifica la acción en términos de rentabilidad?  
Si se produce degradación y/o inestabilidad, ¿es una cuestión de supervivencia?, y si es así, ¿quien se responsabilizará de la acción?, ¿quien pagará las consecuencias?, ¿existe con ello alguna opción a recurrir a una sustitución de acciones para conseguir los objetivos del grupo social que necesita esta acción?*

*Nos encontramos pues ante un proceso regresivo, que en el caso de llegar a ser degradativo (lo cual es muy probable dada la extrema fragilidad), no es justificable*

*en términos de bienestar/impacto. Sin embargo el que el hecho se plantee en una zona de extrema pobreza, lleva a una pregunta básica:*

*Sí el perjuicio que provoca en términos medioambientales lo vamos a pagar entre todos, ¿tenemos el coraje ético de tomar acciones en contra de esta actuación?, ¿quien debe pagar las medidas adecuadas para que no se produzca?*

## *2-Plantación de un eucaliptal en un prado de Asturias.*

### *Circunstancias:*

*Clima lluvioso, no torrencial y sin heladas*

*Vegetación euclimática de robledal*

*Propiedad privada de los prados, de los que históricamente se extrae una renta*

*Escasa productividad actual como pasto*

*Renta baja pero suficiente*

### *Condicionantes:*

*Políticas restrictivas de producción de leche, subvenciones para abandono de la ganadería.*

*El eucaliptal en una estación como la descrita, permite a largo plazo un sotobosque de roble, castaño y arbustos, que rebrota de cepa con cada aprovechamiento, salvo que tenga una espesura excesiva (la persistencia de la biodiversidad y la competencia por el agua son factores de su fragilidad, que a priori no tiene porqué ser alta, pues si se interrumpe el aprovechamiento, se recupera la vegetación climática con relativa facilidad)*

*La imposición de vegetación alóctona reduce los nichos propios de la zona, y por tanto la biodiversidad.*

*Las posibilidades de regresión se darán si el clima no permite la existencia de microorganismos que descompongan el humus producido, de menor calidad fertilizante que el del roble.*

*El pastizal había erradicado previamente la vegetación del robledal*

*El aprovechamiento del eucaliptal tiene escasos costes y necesidad de mano de obra*

### *Planteamiento:*

*Definir el nivel de biomasa y biodiversidad posibles, (Capacidad)*

*Estimar ambas subvariables en la plantación y prado, (Posibilidad)*

*Estimar el grado de regresión: ¿se llega a la degradación? (Infertilidad)*

*Estimar la estabilidad de las distintas opciones, (Fragilidad)*

*Estimar el beneficio de la actuación, (Rentabilidad)*

### *Opiniones:*

*Si los valores de fragilidad indican estabilidad, y la regresión no llega a convertirse en degradación, ¿la diferencia de productividad justifica la acción?*

*¿Justifica el incremento de la rentabilidad la reducción de la biodiversidad?*

*¿El nivel de bienestar que se logra con ello es suficiente?, o sea, ¿cual es la relación bienestar/impacto justificable?.*

*Nos encontramos así frente a otro proceso tal vez regresivo, (o no, si se fomenta el sotobosque y el clima permite la descomposición del humus), que en caso de llegar a ser degradativo no es justificable en términos de relación bienestar/impacto. Pero si no se llega a la irreversibilidad, se reducirá la biodiversidad, y se incrementará el rendimiento. Entonces habrá que preguntarse:*

*Si los intereses del propietario no coinciden con los del conjunto de la sociedad, ¿se debe obligar al propietario a asumir el coste?, y si no es así, ¿quien debe asumirlo?*

Al pretender ser esta exposición una descripción de conceptos y orientación respecto a la forma de medirlos, obviaremos aquellas cuestiones de opinión o políticas que se salen de la capacidad de actuación técnica, y nos centraremos en una problemática muy concreta, que es aquella que afecta a la Europa Mediterránea, en la que es planteable una actuación en términos de bienestar/impacto y no de supervivencia.

Como vemos, si somos capaces de medir las causas, podremos medir los efectos, y entonces decidir o argumentar con eficacia, ya que hemos reducido la discusión a cuestiones de valoración y nos hemos saltado el polemizar los efectos.

En 1997 la AAAS (*Asociación Americana para el Avance de la Ciencia*) publicaba las conclusiones de sus reuniones sobre las tendencias previstas en el siglo XXI, apuntando un cambio de orientación desde los motores de investigación militares e industrial, a la motivación social que exigirá avances en la recuperación del medio natural. De ellas destacar una referencia del economista *Geoffrey Heal*: “*Para hacer el progreso económico compatible con la conservación del medio ambiente, debemos de contestar a la pregunta de: ¿cuánto vale?*”.

### CUADRO RESUMEN DE LOS CONCEPTOS

<b>CONCEPTO</b>	<b>DEFINICIÓN</b>
<b><u>Productividad</u></b>	Generación de biomasa
<b><u>Posibilidad</u></b>	Producción sostenible. Productividad útil.
<b><u>Biodiversidad</u></b>	Valor de la diversidad
<b><u>Fragilidad</u></b>	Inestabilidad del medio. Probabilidad de degradación.
<b><u>Reversibilidad</u></b>	Capacidad de regeneración
<b><u>Resistibilidad</u></b>	Resistencia del medio
<b><u>Capacidad</u></b>	Productividad potencial
<b><u>Agresividad</u></b>	Medida de la acción de agentes externos
<b><u>Regresión</u></b>	Pérdida de la productividad del medio
<b><u>Degradación</u></b>	Regresión irreversible. Esterilidad.
<b><u>Desertización</u></b>	Degradación edáfica.
<b><u>Desertificación</u></b>	Desertización antrópica

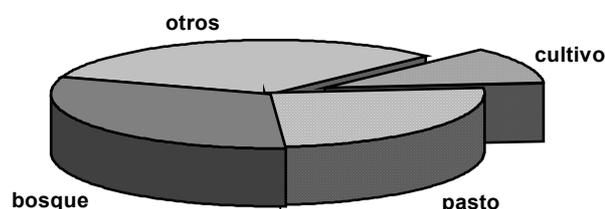
## DIMENSION MUNDIAL

La erosión, como fenómeno geológico, fue, es y será parte de la dinámica de nuestro planeta. Es una herramienta de reequilibrio entre dos fuerzas que actúan antagónicamente en la evolución del medio natural: la precipitación y la tectónica. Lo hacen a su ritmo, y salvo catástrofe, éste permite la sucesión no traumática de los ecotipos. La presencia del hombre acelera este ritmo natural y en esta ocasión la Humanidad puede ser la catástrofe, tal como lo fueron en tiempos pasados meteoritos, volcanes, etc....

La Tierra tiene una superficie total de 55.100 millones de hectáreas, de las que 15.800 corresponden a tierras emergidas. De las no cubiertas permanentemente por hielo (13.300), del orden de la mitad son aprovechadas por el hombre ya sea para cultivo, pasto natural o madera y leña; la otra mitad no son utilizadas por el hombre, e incluye desiertos, tundras, estepas, sabanas, selvas, etc....

En 1.950 la superficie boscosa era del 45% de las tierras, en 1985 se había perdido el 15%, o sea 1/3 de todos los bosques. En 1995, y en sólo 10 años, han desaparecido un 5% más, llegando una superficie estimada por la FAO en 1998 de 3.454 ha.

Considerando dentro de los pastos a las praderas naturales incluso semidesérticas (tierras de escasa productividad y elevada fragilidad), y dentro de otros, desde desiertos verdaderos a cumbres, paisajes degradados y zonas heladas la mayor parte del año, la distribución de los usos de las tierras emergidas es hoy día de:



En 1.990 a cada ser humano le correspondían de media 1,5 ha productoras de recursos. Para el año 2.000 se prevé que con la ocupación de nuevas tierras para producción (entre las actualmente no explotadas), la optimización de los aprovechamientos, la desertificación y el incremento demográfico, la tasa se situará en 1,3 ha/persona, (suponiendo un incremento de unos 400 millones de ha productivas brutas y 2.000 millones de habitantes). O sea, aún robando el máximo posible a los bosques y selvas naturales actuales (consiguiendo al menos regresión por pérdida de la biodiversidad), y siguiendo sobreexplotando el medio, tal vez cuando se lea esto ya seremos todos un poco más pobres.

En el horizonte algo más lejano, en el 2.010, las previsiones del *World Watch Institute* (1997), son de disminuciones per capita del 10% en pesca, 12% en cultivos de regadío, 21% en secano, y 22% en pastizales. Muchos comerán menos pero no todos lo sabrán.

Antes de la Civilización casi la mitad de la superficie emergida estaba cubierta por bosques, de aquellos tan sólo del orden del 24% siguen relativamente intactos, del resto más del 30% han sido devastados y los demás están, bien dedicados al urbanismo, la

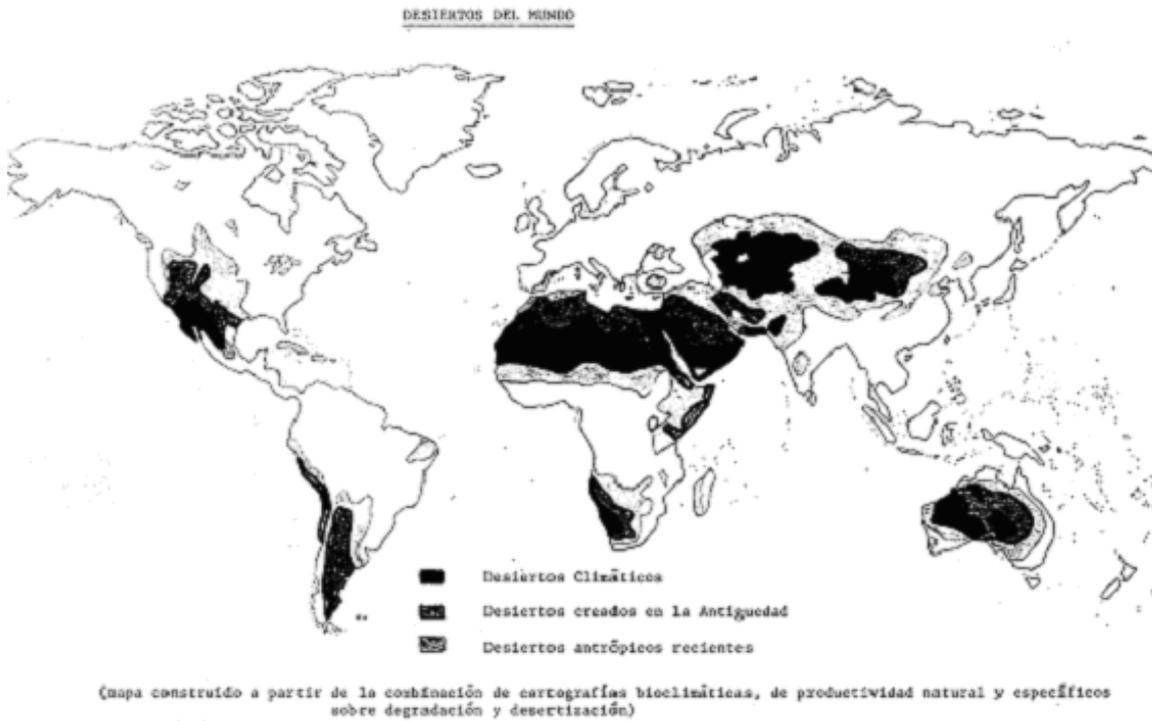
agricultura, ganadería, selvicultura, o bien en estados en mayor o menor medida degradados.

El total de las tierras cultivadas en el Mundo es de entre 1.500 y 1.750 millones de hectáreas (incluyendo los destinados al forraje), algo así como la mitad de la superficie cultivable, tanto degradada, como sin aprovechamiento agronómico actual (incluidos bosques y selvas), como ocupada por poblaciones (aproximadamente 300 Mha) y vías de circulación (del orden de 30 Mha), que se estima en al menos 3.200 millones de hectáreas.

Actualmente una superficie agrícola y ganadera equivalente al Continente Americano (unas 3.300 millones de hectáreas), está en mayor o menor medida afectada por procesos de degradación y desertización, pero lo peor es que el ritmo de pérdida de capacidad productiva esta siendo en este siglo exponencial: la erosión ha motivado que, a través de 24 siglos de historia, se hayan perdido más de 2.000 millones de hectáreas de cultivo, (PNUMA, 1977), de las que el 50% están salinizados o alcalinizados y la otra mitad simplemente han perdido el suelo. Desde la Segunda Guerra Mundial se han convertido en improductivas 1.200 millones de hectáreas, (World Resources Institute, 1992). Los terrenos baldíos representan pues una extensión superior a la que actualmente alimenta al mundo entero.

De nuevo la PNUMA estima que a nivel mundial están afectados en distintos grados por la degradación el 63% de los pastizales (2.600 Mha), el 60% de los cultivos de secano (340 Mha), y el 30% de los regadíos (40 Mha); y que el ritmo actual de los procesos de degradación afectan a 21 Mha/año, de los que llegan a la desertización 6 Mha/año.

**Sólo en este siglo hemos incrementado la superficie mundial desertizada de un 9 a un 15%, a finales de siglo las previsiones son próximas al 20%.**



El proceso sigue, y entre 1.985 y el año 2.000, si todo va bien, habremos conseguido convertir en yermas otras 275 millones de hectáreas, y teniendo en cuenta las

previsiones demográficas, para afrontar el crecimiento de la población previsto al año 2.050, deberán ocuparse entre 450 y 600 millones de hectáreas más de terrenos actualmente silvestres (el doble de lo que nos hemos cargado en un periodo similar de tiempo), y junto con mejoras genéticas de los ecotipos actuales más productivos, aumentar la producción agrícola mundial un 75% (*Cumbre Mundial sobre la Alimentación, FAO, Leipzig y Roma, 1996*), o como media comer todos menos.

En 1994 la desertificación mundial avanzaba a un ritmo de cerca de 1.000 hectáreas/hora, lo que equivale a que 180.000 camiones cargados de tierra fértil viertan su contenido de casi 3 millones de toneladas al mar, lo que suponen anualmente 20.000 millones de toneladas.

Pero hemos apuntado que la productividad natural se mide en su aspecto cuantitativo con el incremento de la biomasa, y en su aspecto cualitativo con la biodiversidad. Podemos haber perdido la mitad de la capacidad de producción del medio natural, pero además de aquí al año 2050 podrían haber desaparecido el 50% de las especies, ello representa un ritmo de extinción 25.000 veces superior al natural.

Pueden parecer cifras increíbles y enormes, marean, pero no estamos acostumbrados a verlas por tratarse de procesos históricos que han trascendido a las culturas, sin embargo, baste leer con este enfoque numerosos pasajes de La Biblia para intuir que los paisajes que allí se describen son, en ocasiones, muy diferentes a la realidad actual de esos mismos lugares.

Incluso lecturas de eventos históricos desde perspectivas de degradación medioambiental basan guerras, ejes de dominio y evolución de los centros de poder en la pérdida de productividad agrícola. Existen interesantes teorías respecto al Ocaso del Imperio Romano consecuencia de la migración de la riqueza hacia el Norte por un incremento de la productividad agrícola de los pueblos bárbaros, basada en cambios climáticos que hicieron más benigna CentroEuropa, frente a sequías y degradación en la Cuenca Mediterránea.

¿Cómo puede ser que la operación militar “*Tormenta del Desierto*” se bautizara con ese nombre dándose lugar en lo que fue la cuna de la Civilización Occidental: Sumer, en el mítico por su riqueza, valle del Tigris y Eufrates?. ¿Cómo cuadrar que en las películas del Lejano Oeste estén siempre grabadas en desiertos si la base económica de esa sociedad fue el pasto?. ¿Porqué construyeron Petra en medio de un desierto?.

Cartago fue en su esplendor una ciudad comercial rica situada en terrenos agrícolas fértiles, en lo que hoy es Túnez. Aníbal llegó a atravesar los Alpes con sus elefantes, y por supuesto no los fue a buscar a miles de kilómetros atravesando desiertos al Sur del Sáhara ni a la India, sino que vivían en el Norte de África, y para su alimentación es imprescindible que existiera una vegetación natural enormemente abundante donde ahora sólo hay arena y polvo.

Éfeso, ciudad portuaria en la época griega que basó su riqueza en el comercio marítimo, en la actualidad no tiene puerto natural debido al arrastre de sedimentos (que es la tierra que ha ido perdiendo la cordillera que la circunda). Análisis de polen demuestran que un tiempo las montañas que la rodean fueron bosques de encinas, después trigales, y antes de perder completamente el suelo, pastos de ovejas y cabras.

El ganado consume un 40% de la cosecha mundial de cereales y su apacentamiento ha provocado la degradación de las  $\frac{3}{4}$  partes de los cultivos perdidos, que son como poco, aproximadamente los mismos que ahora alimentan a toda la Humanidad. Tenemos una

cabaña de 1.150 millones de ovino, 1 por cada 5 humanos, un número algo superior de vacuno y algo inferior de porcino, si bien al ser estas dos últimas explotaciones normalmente intensivas, producen en la actualidad un menor impacto en el medio, en el sentido de ésta exposición.

Por cada hectárea productiva de cereal en consumo humano directo, se necesitan 10 para obtener una cantidad equivalente de alimentación en carne a través de pasto. Se necesita una cantidad equivalente de recursos naturales para producir 25 Kgrs de verdura ó pasta, 8 panes, y 1 Kgr de carne. Sin embargo como ejemplo representativo del Primer Mundo, en España consumimos el doble de proteínas de origen animal (94,3 gr/día), de lo dietéticamente recomendable para la salud (46 gr/día). Si previamente se solucionaran los problemas de la explosión demográfica, miseria y distribución de alimentos, comer carne en exceso sería una falta frente a los demás, pues los recursos utilizados tienen un nivel bajo de eficiencia frente a las necesidades de un mundo superpoblado. *Einstein* dijo en una ocasión “*El siglo XXI será vegetariano o no será*”.

No significa ello que para frenar la desertización haya que dejar de comer carne, sino que cuando se pueda ordenar y repartir los recursos naturales, habrá que considerar su optimización (de momento el problema demográfico es de un orden de magnitud muy superior a cualquier planteamiento técnico de racionalización de recursos). El ganado puede ser positivo en un ciclo productivo sobre suelos en barbecho, de productividad baja,...., o incluso justificable en suelos muy ricos utilizando técnicas intensivas, pero en aprovechamientos extensivos no planificados es una salvajada que lleva miles de años haciéndose.

Pero la peor circunstancia no se da actualmente en la llamada *Civilización Avanzada* (sic), sino en los países más pobres, pues como parece ser y haber sido una constante en la evolución de las sociedades para su desarrollo, la fase de producción rural estable centrada en suelos más eficientes, sucede a la explotación trashumante indiscriminada, una vez ya se ha conseguido degradar buena parte del suelo. En Europa sucedió hasta más allá de la Edad Media; en Norteamérica, Australia, etc... hasta bien entrado el siglo XX; y en los países en desarrollo está sucediendo ahora, pues **la riqueza de un individuo se mide por su rebaño y no por la extensión del suelo en que produce.**

En el inicio del tercer milenio, tenemos en el Globo una representación viva de todos los momentos históricos de la Humanidad. Hay tribus prehistóricas, nómadas, cazadores, guerras étnicas, agricultores contra ganaderos, genocidios, esclavitud, sistemas feudales, imperios, y todo conviviendo al mismo tiempo. Seguimos sin aprender de nuestra historia. **La degradación es el modo de contaminar de los pobres.**

Si ello no fuera suficiente, los usos que den los habitantes de un determinado lugar a su suelo, inciden directamente sobre los demás. Así, 2.000 millones de personas que viven en llanuras, dependen para su alimentación de la estabilidad de las tierras altas, y por tanto de las técnicas de producción de otros países, políticas y culturas.

Ejemplos representativos de las consecuencias de la sobreexplotación son tanto más fáciles de hallar cuanto mayor sea la demografía, la pobreza y la historia:

*En 1.987 las 2/5 partes de los cultivos del Nepal estaban abandonados por la degradación del suelo, desde la conquista del Everest en 1953, ha perdido 1/2 de su masa forestal y en los últimos 40 años han desaparecido el 40% de los bosques de la cuenca del Ganges. Se pueden contabilizar por fotografía aérea, sólo en Nepal y en un solo día hasta 20.000 corrimientos de tierra (se producen normalmente por falta de raíces que sostengan el suelo en pendientes pronunciadas), y en 1988 apareció una nueva isla en el delta del Río Sagrado con los*

*sedimentos transportados desde el Himalaya como consecuencia de la fuerza de los monzones. ¿Lo habrán interpretado como un milagro?.*

*Históricamente se ha comprobado que en anteriores siglos, Bangladesh sufría una media de una inundación monzónica catastrófica cada 50 años. Actualmente la media es de una cada 4 años, y en 1988 el 85% del país se anegó. La India sufre pérdidas anuales de 2.000 millones de dólares por inundaciones, además de las pérdidas humanas, **(y las inundaciones, como se verá más adelante, son consecuencia principalmente de la degradación).***

*En el Ombligo del Mundo: Rapa Nui, conocido desde la visita de Roggenveen (1722) y Cook (1774), como la Isla de Pascual, se realizó un experimento muy significativo: 1.000 años antes llegaron tribus polinesias a esa apartada isla cubierta por selva subtropical; se organizaron y con propósito desconocido, se especializaron socialmente y comenzaron la expansión demográfica y la construcción de Moais; la isla llegó a albergar más de 7.000 habitantes, pero la sobreexplotación de madera para mover las inmensas esculturas, llevó a la total deforestación de la Isla, y cuando los europeos llegaron hallaron menos de 1/3 de sus habitantes, desorganización social, y la mayoría de los Moais tumbados. Hoy la productividad natural de la Isla sigue siendo bajísima y depende únicamente del turismo.*

*Mauritania y Etiopía ya no tienen apenas árboles, Eritrea fue el granero de Italia, desde 1950 se han talado a raso en la zona el 90% de sus bosques y se han abandonado en las tierras altas, donde vive el 70% de la población, 200 millones de hectáreas de cultivos por improductivos y prolongadas sequías. Como ha sucedido históricamente en la evolución de otras sociedades, aún ahora se considera socialmente superior la producción ganadera trashumante a la agricultura (igual que sucedió en la Edad Media en Europa, o en la colonización del Lejano Oeste en Norteamérica).*

*Está previsto que el Canal de Panamá comience a tener problemas de restricción de calado para los barcos a partir del año 2.000 como consecuencia de la acumulación de sedimentos erosionados en áreas degradadas de sus cuencas vertientes, justo cuando los EE.UU. restablezcan la soberanía.*

*El Río Amarillo, en China, a su paso por las mesetas de loess lleva casi 1/2 de su caudal en forma sólida, o sea, es barro líquido arrastrado desde las zonas degradadas de lo que fueron ricas zonas boscosas. Ni siquiera puede aprovecharse el agua en forma de pantanos para energía, riego o consumo, pues en el remanso depositarían los sedimentos (1.000 millones de toneladas al año), y en muy pocos años se aterraría la presa. En su desembocadura, el nivel supera entre 3 y 5 metros los campos de cultivo adyacentes, protegidos por diques de contención (como veremos más adelante, si la escorrentía es ahora mayor, a igual pluviosidad, el agua aparente para las plantas es menor, o sea, los terrenos de las montañas de donde vienen las aguas creen subjetivamente que llueve menos).*

A pesar de estos ejemplos, y muchos más, no se toman medidas eficaces para evitarlo, debido a :

1. Elevado coste de una inversión sólo amortizable a largo plazo, pues sólo existe una solución: ordenación y planificación de los aprovechamientos + repoblación y regeneración de ecosistemas + adecuación de la posibilidad a la productividad del medio.
2. Necesidad de la población en subsistir a corto plazo, sin posibilidad de plantearse las consecuencias de sus acciones. Muchas veces los habitantes de las zonas en avanzados procesos de desertificación llegan a ser conscientes de ello, pero frente al dilema de comer o calentarse hoy, o sacrificar su vida por un futuro, simplemente no eligen porque no pueden.
3. Insolidaridad internacional. Los países no coinciden con las cuencas vertientes, y a menudo las cabeceras, (zonas de erosión), y las desembocaduras, (zonas de depósito), pertenecen a organizaciones políticas con distintas prioridades, ya sea por diferentes presiones demográficas, calidad de vida o simplemente ideologías políticas, religiosas o económicas.

La única forma de que recuperaran los terrenos perdidos sería la repoblación de los territorios agrícolamente no aptos, y que la explotación de los recursos fuera constante e igual a la capacidad del medio en producirlos (posibilidad), lo cual implica que hay que definir una determinada demografía y calidad de vida, y que estas deben permanecer estables o al menos evolucionar consensuadamente con la aplicación de técnicas que permitan aumentar la extracción de recursos sin degradación (sostenibilidad). Pero ello no es posible sólo confiando en los científicos, pues la demografía y calidad de vida no son definibles por los técnicos gestores de los recursos naturales.

La demografía se puede estabilizar contra corriente, o sea por la fuerza, limitando la tasa de natalidad institucionalmente, o a favor de corriente, o sea aumentando la calidad de vida. En nuestra sociedad industrializada se está estabilizando el crecimiento demográfico por dos razones:

1. La descendencia es un coste y no un beneficio: los hijos no son productivos
2. La vejez está asegurada institucionalmente, y no es preciso confiar en los hijos para garantizársela

La relación entre nivel de vida, tasa de natalidad y consumo unitario, es directamente proporcional en todos los casos.

Los pobres, en su explosión demográfica requieren cada vez más recursos, y por tanto sobreexplotan cada vez más el medio, ya que es limitado. En cambio los ricos hacen exactamente lo mismo, pero aún siendo la misma cantidad de gente, el nivel unitario de consumo también nos ha estallado.

Sin embargo, seguimos creciendo con criterios puramente económicos, obviando completamente los medioambientales. En 25 años, a un crecimiento medio de la economía como el mínimo medio reciente del 3%, la producción y el consumo de recursos aproximadamente se doblará.

Un círculo vicioso del que es difícil de salir en el escaso plazo que tiene la Humanidad para llegar a la estabilización de la regresión del medio natural, y comenzar a pensar en su regeneración. Si se quiere estabilizar la presión demográfica, se debe conseguir una mayor calidad de vida, son necesarios mayores recursos, y para ello es preciso detener el crecimiento de la población. Aún en el caso de conseguirlo, somos demasiados para vivir todos con un nivel consumista “occidental”. No es una cuestión técnica el solucionarlo.

En 1996 se celebró en Roma y con la presencia de 200 países, la *Conferencia Internacional sobre la Alimentación*, y una de sus conclusiones fue que existían suficientes alimentos para alimentar a toda la población del Globo, y que el problema de su distribución se podía solucionar con presupuestos de “sólo” 3 billones de pesetas al año, algo así como el 5 % del presupuesto del Estado Español. Sin embargo no se consideró que las sociedades al desarrollarse tienen mayores necesidades de recursos per cápita. En la actualidad no existirían suficientes recursos naturales para los habitantes del Mundo si todos viviésemos con una calidad de vida similar a la de los mal llamados “Países Desarrollados”, o sea, es posible aumentar aún más la población, pero principalmente entre miseria, y manteniendo la actual velocidad de degradación del medio.

China tiene el 20% de la población mundial, pero sólo el 7% del agua dulce y con el tiempo se ha quedado con un 7% de la tierra cultivable (*L.R. Brown, 1995*). Se

encuentra en una fase de desarrollo espectacular y a principios del próximo siglo superará en PNB a EE.UU.. Con su desequilibrio entre demografía y recursos naturales sólo puede alcanzar niveles de bienestar del Primer Mundo a costa de los recursos de otros países, que en su entorno también están superpoblados. Aún así, y pese a ser del todo insuficiente dada la dimensión de sus procesos degradativos, con el mero hecho de que la degradación sea económicamente negativa, se ha conseguido un incremento medio de la producción de grano del 13% en el Norte de China repoblando una franja de 7.000 Kms de longitud y de 400 a 1700 Kms de ancho en el “Cinturón Forestal de San-Bei”, (lo que representa del 4 al 6% de la superficie forestal de la China Septentrional), protegiendo a 8 millones de hectáreas de pastos y cultivos.

Un ejemplo histórico cruel de reducción de la población y su impacto en el medio ambiente lo tenemos en la colonización de América, y la importación del virus de la gripe, entre otros, a los indígenas de las selvas tropicales. No se conoce con exactitud la extensión de las selvas en épocas precolombinas, pero algunos autores afirman que la deforestación actual del Amazonas y Centroamérica puede llegar a ser incluso similar a la deforestación que existía con la llegada de los españoles, antes de más que diezmar la población autóctona. Como imagen gráfica pensemos en los templos y pirámides mayas cubiertas de selva del Sur de Méjico y Guatemala.

Algunas tesis defienden que la civilización maya inició su decadencia en el siglo IX debido a la desertificación que provocó la construcción de sus pirámides y ciudades (la obtención de 1 m<sup>3</sup> de estuco a partir de caliza necesita el fuego de al menos 20 árboles grandes con sus ramas). La deforestación provocó la erosión del suelo, la sedimentación en las zonas pantanosas de donde se extraía la turba que utilizaban como fertilizante en sus jardines agrícolas colgantes, y el hambre; (Hansen, 1995). Cuando llegó Hernán Cortés, a pesar del esplendor Azteca, el Imperio Maya no era ni sombra de lo que fue. Un ejemplo histórico de lo que nos puede suceder a nosotros: lo que estamos haciendo ya lo han probado otros y no les salió bien.

Sin embargo en zonas ricas con ecosistemas frágiles, donde no se han aplicado criterios técnicos de evolución social y medioambiental, hasta ahora, con menos excusa tampoco se ha conseguido controlar la degradación. EE.UU. ha conseguido perder en su escasa e intensa historia 140 millones de hectáreas, de las que casi el 60% ha sido en lo que va de siglo, (casi el doble de la superficie de España), en 100 años han desaparecido las 3/4 partes de sus bosques (y no es país pequeño), y ello ocurre por aplicar criterios de crecimiento no planificados también medioambientalmente. Los procesos de desertificación afectan actualmente al 47% de los cultivos de secano de California, y a nivel de toda la nación, las 3/4 partes de su superficie está afectada por la erosión.

A todo ello hay que añadir una consecuencia indirecta de la presión demográfica, aunque sea estable, y esta es la de los incendios. El fuego se lleva cada año:

	millones de hectáreas
selvas tropicales	5
cuenca mediterránea	2
coníferas del Norte	3

En una conferencia pronunciada en Abril de 1994 por el *Ministro de Obras Públicas*, se afirmaba que “*En España, más que otros problemas medioambientales, los principales retos ecológicos son garantizar la calidad de las aguas y controlar la desertización*”.

En vísperas de la *Conferencia de Río*, el *Grupo de los Cien* publicó la “*Declaración de Morelia*”, que entre otras sentencias incluía: “*Si la deforestación y erosión continúan al ritmo actual, al final del siglo el Planeta habrá llegado a la máxima ocupación posible de suelo cultivable. A partir de entonces no sólo comenzarán los cultivos a disminuir en superficie, sino que además la población que tendrán que alimentar seguirá incrementándose hasta doblarse y tal vez estabilizarse a mediados del próximo siglo*”.

Sin embargo, mientras en los países en vías de desarrollo se está deforestando en las últimas cuatro décadas, a un ritmo de entre 13 y 15 millones de hectáreas al año, (en los últimos 30 años se han degradado 160 millones de hectáreas de bosque tropical, lo que representa una superficie algo menor que la Unión Europea), en las últimas décadas Europa repobló a una media de 2 millones de hectáreas anuales. Lo cual no compensa lo anterior, pero sí indica que en sociedades donde no es imprescindible la destrucción de los recursos naturales para la supervivencia, la tasa bienestar/impacto está sobrepasada y puede haber comenzado a estar en vías de recuperación. En España desde hace décadas se estuvo repoblando a una media del orden de las 100.000 hectáreas anuales, si bien a menudo se está incendiando el doble de esa superficie. De hecho en el conjunto de los países más desarrollados, con una superficie forestal del orden de los 2.000 millones de hectáreas, ha aumentado ligeramente durante este siglo.

Para los pobres, como siempre, las cifras son de espanto:

<b>(en millones de ha.)</b>	<b>1980</b>	<b>1990</b>	<b>%</b>
<b>América Central y Méjico</b>	<b>77,0</b>	<b>63,5</b>	<b>21</b>
<b>Caribe</b>	<b>48,8</b>	<b>47,1</b>	<b>4</b>
<b>Sudamérica tropical</b>	<b>797,1</b>	<b>729,3</b>	<b>9</b>
<b>Surasia</b>	<b>70,6</b>	<b>66,2</b>	<b>7</b>
<b>Sureste asiático continental</b>	<b>83,2</b>	<b>69,7</b>	<b>19</b>
<b>Sureste asiático insular</b>	<b>157,0</b>	<b>138,9</b>	<b>13</b>
<b>Sahel africano Occidental</b>	<b>41,9</b>	<b>38,0</b>	<b>10</b>
<b>Sahel africano Oriental</b>	<b>92,3</b>	<b>85,3</b>	<b>8</b>
<b>Africa Occidental</b>	<b>55,2</b>	<b>43,4</b>	<b>27</b>
<b>Africa Central</b>	<b>230,1</b>	<b>215,4</b>	<b>7</b>
<b>Sudáfrica tropical</b>	<b>217,7</b>	<b>206,3</b>	<b>6</b>
<b>Madagascar</b>	<b>13,2</b>	<b>11,7</b>	<b>13</b>
<b>TOTAL</b>	<b>1.884,1</b>	<b>1.714,8</b>	<b>10</b>

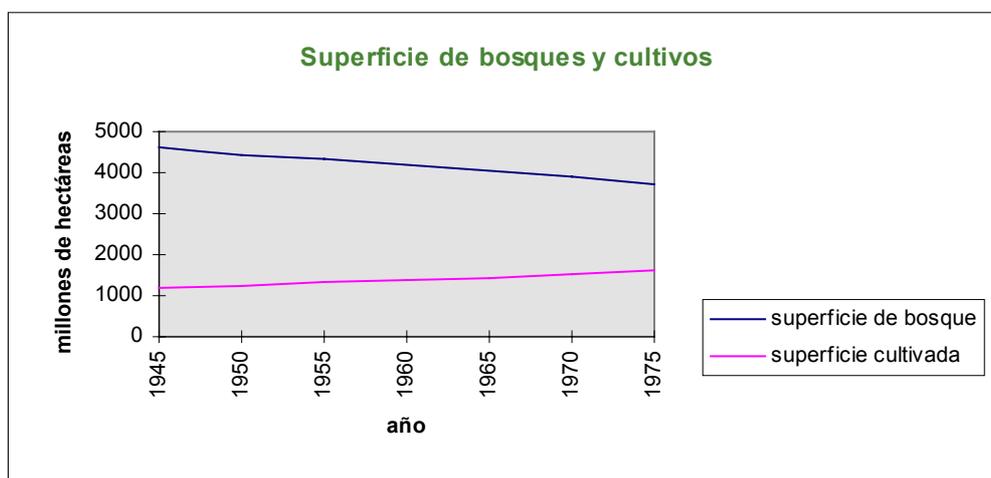
Los datos por países tropicales en porcentaje de hábitat natural acumulado perdido son aún más preocupantes, veamos unos ejemplos:

	<b>%</b>
<b>Sudáfrica</b>	<b>57</b>
<b>Etiopía</b>	<b>70</b>

Madagascar	75
Camerún	59
Malasia	41
Vietnam	80
Costa de Marfil	79
Indonesia	49
Filipinas	79

Pues estas cifras no son lo peor, ya que al ser explotaciones indiscriminadas no consiguen optimizar la rentabilidad. En las selvas amazónicas sólo se extrae y comercializa un 5% de la madera talada. De hecho, la reducción de la superficie de bosque no es asimilada en el mismo grado que el aumento de cultivo, perdiéndose la diferencia en territorios improductivos degradados, y de ello trata esta exposición, no **del hecho de que se pierda bosque, sino de que se pierda inútilmente**. Atendiendo a las estadísticas publicadas por el *Programa de Evaluación de los Recursos Forestales* (FAO-ERF, 1997), entre 1950 y 1995, la superficie mundial de bosque se redujo en casi 1.000 millones de hectáreas, y la superficie cultivada se incremento tan solo en 500 Mha, con lo que casi la mitad de lo destruido, ni siquiera es aprovechado, pues en buena medida entra en el círculo de la degradación.

En Septiembre de 1997, 2 millones de hectáreas de selva ardieron en Indonesia en quemas descontroladas provocadas para incremento de la superficie agrícola, y aprovechamiento inmediato de madera. La nube de humo abarco una superficie mayor a la Península Ibérica, llegando a Tailandia y Filipinas, provocando accidentes de aviación, navales, y graves problemas de salud pública.



La destrucción del bosque se produce en mayor medida que el aprovechamiento para cultivo

(Burian, 1973, a partir de distintas fuentes)

Esta exposición no trata de los ecosistemas arrasados, sino de aquellos que lo han sido sin apenas beneficio y además han perdido la capacidad de alimentar a futuras generaciones, o sea, de la parte que se degrada en la superficie que queda de restar lo deforestado y el incremento de lo cultivado.

No debe entenderse la degradación como deforestación, sino como la destrucción de la productividad del medio. Puede ser la causa ó sólo una primera fase. En ocasiones ello

provoca sólo regresión, dedicándose la capacidad del medio a cultivo estable, pero por desgracia la degradación puede comenzar en otra fase: la sobreexplotación agrícola o ganadera. En la antigua URSS dentro de programas de desarrollo en Siberia se abrieron a la irrigación 7 millones de hectáreas de cultivos hasta entonces de secano, la práctica totalidad están ahora abandonadas e improductivas como consecuencia de la alcalización y salinización por exceso de abonos y riego (los procesos edáficos se describen más adelante).

Puede intentarse producir por encima de la posibilidad, pero ello lleva al agotamiento del suelo: entre 1970 y 1989 la producción mundial de fertilizantes se ha multiplicado por 10 (de 14 MTm a 140 MTm), y sin embargo la misma cantidad de abono mineral incrementa la producción  $\frac{1}{2}$  que hace 20 años, (el proceso por el que ello sucede se describe en el tema *Procesos Edáficos Degenerativos*).

En 1992 se produjo en la *Conferencia de la ONU sobre el Medio Ambiente y Desarrollo en Río de Janeiro*, continuación de la de Estocolmo sobre medio ambiente humano celebrada en 1972, acontecimiento que se pretende, marcará a largo plazo la evolución de esta problemática. Por primera vez se asumió políticamente que los procesos de desertización están íntimamente relacionados con el nivel de vida y la demografía. El considerar esta problemática en términos de bienestar es solamente válido en el entorno de los países del Primer Mundo, que a su vez durante su evolución histórica hicieron con el Medio Ambiente lo mismo que ahora acusan a los demás, y por el mismo motivo: sobrevivir y expandirse.

El *Programa 21*, o Programa de Acción de la Conferencia de Río, dividió en 4 Secciones las actividades a realizar para la protección del Medio Ambiente, y 3 de ellas se referían a cuestiones socioeconómicas:

**1- Dimensiones Sociales y Económicas.**

Donde se proponían acciones en cooperación, desarrollo, pobreza, consumo, demografía, salud,...

**2- Conservación y Gestión de los Recursos para el Desarrollo.**

Donde se proponían acciones en la atmósfera, ordenación de recursos, deforestación, desertización, zonas de montaña, agricultura, biodiversidad, biotecnologías, océanos y mares, reservas de agua dulce, productos químicos, basuras y aguas fecales, residuos tóxicos,...

**3- Fortalecimiento del papel de los grupos principales.**

Entendiendo con ello a la discriminación de la mujer, juventud, indígenas, organizaciones no gubernamentales, autoridades, trabajadores, empresarios, científicos, agricultores,...

**4- Medios de Ejecución.**

Referidos a las diferentes áreas que pudieran aportar soluciones: ciencia, financiación, formación, cooperación,...

Vemos pues que **Medio Ambiente y Desarrollo no pueden separarse**, pues el ser humano ante la alternativa de sobrevivir, lo hace a costa de lo que sea. En cambio en nuestro Primer Mundo, el criterio de medir la relación bienestar/impacto, debe ser la base de las opiniones y decisiones de conservación y protección del Medio Ambiente, y para exportar este criterio a otras sociedades deberemos asumir el coste en distribución de calidad de vida.

Los países del Sur acusan al Norte de ser los autores de la contaminación del planeta y de esquilmar los recursos naturales del mismo, o forzar, a través del pago de la deuda externa, a las naciones en vías de desarrollo a malversar los propios e hipotecar su futuro. Por su parte, los países desarrollados reprochan al Tercer Mundo su ineficacia, su alta demografía y que no velen suficientemente por sus recursos (que por otra parte han olvidado que fue lo mismo que hicieron nuestros antepasados).

La *Conferencia de Río* tiene un alto valor teórico a largo plazo, aunque sus necesarias consecuencias inmediatas no se están ejecutando al no estar dotadas de suficiente presupuesto. Dentro de la Sección que se refiere al Medio Ambiente, uno de los capítulos es el 12. “*Ordenación de ecosistemas frágiles: lucha contra la desertización y la sequía*”. Veamos las Areas en las que se subdivide:

- A)Fortalecimiento de la base de conocimientos y elaboración de sistemas de información y observación sistemática respecto de las regiones propensas a la desertificación y la sequía, y de los aspectos económicos y sociales de esos sistemas.*
- B)Medidas contra la degradación de las tierras mediante, entre otras cosas, la intensificación de las actividades de conservación de suelos, forestación y reforestación.*
- C)Elaboración y fortalecimiento de programas integrados para la erradicación de la pobreza y la promoción de sistemas de subsistencia distintos en las zonas propensas a la desertificación.*
- D)Fomento de programas amplios de lucha contra la desertificación e integración de esos programas en los planes nacionales de desarrollo y en la planificación ecológica nacional.*
- E)Elaboración de planes amplios de preparación para la sequía y de socorro en casos de sequía, así como mecanismos de autoayuda, para las zonas propensas a la sequía, y programas para hacer frente al problema de los refugiados ecológicos.*
- F)Fomento y promoción de la participación popular y la educación sobre el Medio Ambiente, con especial hincapié en las medidas contra la desertificación y las actividades para hacer frente a los efectos de la sequía.*

Han transcurrido 20 años desde la publicación de “*Los límites del crecimiento*”, (Donella H. Meadows, Dennis L. Meadows y Jorgen Randers), presentada bajo los auspicios del *Club de Roma*. Entonces sostenían que los límites serían violados en este siglo y que se produciría un declive rápido e incontrolable de la población y de la capacidad industrial. En su nuevo libro “*Más allá de los límites*”, redimensionan el plazo de capacidad de la Biosfera en resistir el incremento demográfico a 20 años. Numerosos autores difieren en el plazo, (la *FAO* en un informe de 1992 predecía un plazo de 30 años), y otros confían en la capacidad de autorregulación demográfica no traumática de la Humanidad, pero está claro que las relaciones entre población, recursos y calidad de vida es limitada.

Mientras en los países desarrollados se está estabilizando la demografía, en 1990 los países pobres tenían las  $\frac{3}{4}$  partes de la población y para dentro de 20 años se habrá incrementado esta cifra en un 5%, de los que más de 4.000 millones vivirán en zonas urbanas y 2.500 en áreas rurales. Ello implica un aumento de 1.000 millones de personas que dependen directamente del campo, y que necesitan comida, agua, leña,... y muchos más que que comerán importando del campo a las ciudades su comida. Desde 1985, a pesar de los pesticidas, fertilizantes y mejoras genéticas, la producción de grano per cápita está descendiendo y se calcula que  $\frac{1}{4}$  de la población mundial consume leña a un ritmo superior a la capacidad productora del medio.

Según el *Secretario Ejecutivo del Convenio contra la Desertificación, Hama Arba Diallo*, la desertización afectaba en 1995 a 900 millones de personas en poco más de 105 países, de los cuales tan sólo México y Cabo Verde, han ratificado el Convenio aprobado en la *Conferencia de Río* de 1992.

Puede resultar romántico luchar por la conservación de la Naturaleza en su estado puro, pero por el mero hecho de nuestra existencia **no puede no considerarse al Medio Natural como una fuente de recursos:**

- Según la *FAO*, el mínimo para alimentar a una persona adecuadamente es de 0,14 ha con dieta totalmente vegetariana, 0,62 ha en dieta normal, y 1 ha en países desarrollados (más diversidad y carne en su dieta). En los países subdesarrollados se malvive con una media de 0,2 ha/persona, y pronto la media no llegará a esa cifra, y la problemática del hambre en el mundo añadirá a los problemas de distribución, solucionables, la imposibilidad de producir.
- El consumo de madera para construcción, muebles, papel y productos textiles extraídos del bosque, se ha incrementado en la últimas tres décadas a un ritmo de un 1,5% anual. Sin embargo los países desarrollados, mantienen estable su relación producción/consumo, gracias al lujo de poderse permitir la selvicultura o aprovechamiento sostenible. Así, con una demanda del 70% del total mundial, el incremento de la productividad de los bosques ordenados, el reciclaje, y el crecimiento de la superficie forestal, mantienen la producción en similares porcentajes.

Para variar, es en las regiones pobres del Globo donde se absorbe el incremento descontrolado del consumo, y donde la necesidad impide el lujo de planteamientos de sostenibilidad. Así, el 30% del consumo de estos países, asimilan casi todo el crecimiento mundial de la demanda de madera, y saltándose la sostenibilidad, se incendian y/o talan a raso bosques enteros.

Talar un bosque no es malo si se hace en la medida anual de su posibilidad, o sea extrayendo rentabilidades constantes cada año, y no de una vez. Al ritmo actual, la *FAO* estima que en el 2010, ni aún de modo sostenible, las necesidades podrían ser cubiertas por los actuales bosques del mundo (*State of World Forests*, 1997). La necesidad media para la producción sostenible de madera en el Primer Mundo es de 0,4 ha/habitante, lo que supone un consumo medio por persona de 1 Tm/año de madera en peso seco, cantidad sólo alcanzada sin degradación en los países industrializados y ricos en bosques a través de la selvicultura (ordenación de los aprovechamientos forestales). La Organización Internacional de Maderas Tropicales ha publicado su Objetivo 2000, consistente en que para ese año el 100% de la producción sea ecocertificada, o sea, consecuencia de explotaciones sostenibles y ordenadas forestalmente, garantes del aprovechamiento de la posibilidad.

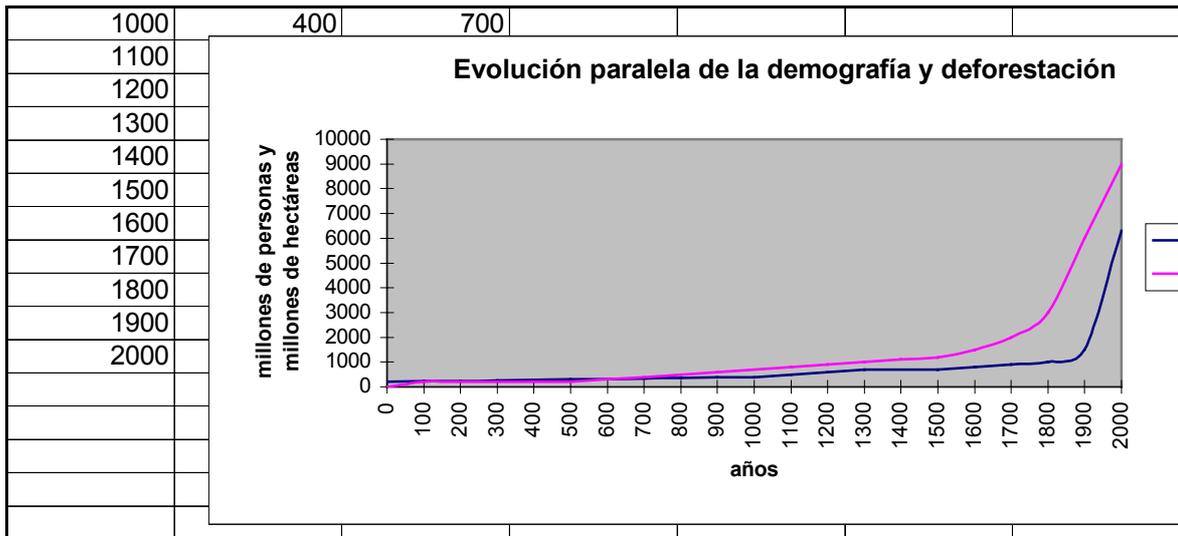
- El agua que se necesita para beber y asearse es de un mínimo de 20 litros diarios, pudiendo también más que multiplicarse en sociedades desarrolladas. En España usamos del orden de 120 litros/persona y en California se llega a los 200.
- La cantidad de energía necesaria depende del nivel de vida y del clima, el consumo de combustibles fósiles, (madera, petróleo y carbón), se distribuye, según el nivel de vida, del siguiente modo:

países fríos	más de 5 Tm de carbón/persona y año
países templados	1-5 Tm de carbón/persona y año
países tropicales	menos de 1 Tm de carbón/persona y año

- En España consumimos casi 400 MKw hora en 1 día, y esta cifra se incrementa con el nivel de vida a pesar de los intentos de concienciación para el ahorro. En los países pobres, se sustituye el incremento de la necesidad de petróleo por leña, cuyo consumo aumenta anualmente un 1,2%. Dos de cada cinco personas en el mundo dependen únicamente de la leña como fuente de energía de uso doméstico.

El Conservacionismo a ultranza es ecológico ó humanista, pero no ambas cosas, pues el pretender tal contradicción lo hace nocivo para los dos conceptos. Si queremos proteger el medio, y por el mero hecho de existir, debemos asumir que la Naturaleza produce, que debemos explotarla o irnos a otro planeta, y que el límite de la producción está en el mantenimiento de la productividad natural, no en la conservación. Mientras los usos sean sostenibles (extracción de la posibilidad), bosques, prados, ganados y campos, son perfectamente aprovechables.

No es una cuestión sólo de consumo de recursos por persona, sino el conjunto de la población, o sea, consumo absoluto que depende del unitario y de la cantidad de habitantes. Los países ricos consumen más, pero su demografía está estabilizada, los pobres al contrario. Si se pudiera hacer salir de la miseria a toda la población se estabilizaría la demografía, pero ya sería demasiado tarde, pues el consumo de cada habitante habría aumentado, y deberíamos reducir el nivel de riqueza de todos. Cada segundo nacen 3 personas, de las que al menos 2 lo hacen en países en vías de desarrollo. La esperanza de vida es de 77 años en Europa, 66 en Sudamérica, 57 en Asia Meridional y 52 en Africa. 2/3 de la población es pobre de solemnidad. La *Conferencia sobre Asentamientos Humanos, Hábitat II*, celebrada en Estambul en 1996 con 186 países presentes, con otros criterios era más optimista y cifraba viviendo en la miseria a “sólo” 1.300 millones de personas (20-25% de la Humanidad).



En 1679 *Antoni Leeuwenhoek*, inventor del microscopio, calculó cuantas personas podía mantener el planeta. Su criterio fue que no era posible una densidad superior a la de Holanda de la época, y su resultado fueron 13.400 millones de personas. Es anecdótico, pues un sólo factor no determina la capacidad del medio en mantenernos. Desde entonces se han publicado al menos 65 estudios que postulan la limitación por la alimentación, agua, fotosíntesis, combustible, residuos,... y las estimaciones están normalmente entre los 1000 y 3000 millones.

En el inicio de la era cristiana, había unos 200 millones de habitantes, en 1650, se llegó a los 500. En los 180 años posteriores se dobló, y bastaron 100 años más para volverse a doblar, pero ello ha sido exponencial, y en sólo 45 años la población pasó en 1975 a ser de 4.000 millones de personas. En Julio de 1987 alcanzamos los 5.000 millones de habitantes, y en sólo 10 años, en 1997 estamos ya por encima de los 6.000. Actualmente la tasa de crecimiento ha caído al 1,5 y las estimaciones más optimistas del *Population Institute* de EE.UU. revisaba a la baja en 1996 las previsiones a una estabilización alrededor del 2025 en 8 mil millones de personas. Otros llegan a doblar esa cifra.

En 1993 se celebró la *III Conferencia sobre Población y Desarrollo* en El Cairo, que fue considerada por la ONU como una lógica consecuencia de la *Reunión de Río* al tratarse expresamente la relación entre desarrollo y recursos. Las conclusiones de estas reuniones internacionales son el reconocer que población y desarrollo, así como las cuestiones sociales y ambientales son interdependientes. Se establecieron como variables relacionadas la demografía, calidad de vida, medioambiente y cultura.

**Sólo se podrá luchar contra la desertización en aquellos lugares donde se haya resuelto previamente el problema demográfico y/o la miseria.**

En España, del orden del 50% de la superficie es de vocación agrícola, o sea, que por el tipo de suelo, régimen pluviométrico y pendiente, tiene una productividad estable y erosión similar a la sedimentación, lo que implica que puede disponer de vegetación regresiva, pero no está sujeta a procesos de desertificación. Del 50% restante, la mitad está ocupada por terrenos improductivos o desertificados, y el resto por asociaciones vegetales más o menos regresadas, bosques naturales, zonas de alta montaña y praderas climáticas, bosques disclimáticos, y sobretodo bosques y matorrales plagioclimáticos.

En España, con 21,5 millones de hectáreas cultivadas, se dispone de 0,6 Ha/persona, y se prevé para el año 2.000. con una población de 43 millones de personas, del orden de 0,5 Ha/persona. Pues en las últimas décadas se están degradando a improductivos una media de 47.000 ha. anuales de cultivos, lo que representa que cada 3 años la superficie improductiva española se incrementa en un 1%. Si a ello le añadimos una media de 100.000 ha de diferencia entre los bosques calcinados y los repoblados, la media es superior al 1% anual. Esto representa el transporte de entre 1.000 y 1.300 millones de toneladas de suelo fértil al año, un 5% del total mundial, y unas pérdidas económicas de 30.000 millones de pesetas anuales.

En 1981 se creó el *Proyecto LUCDEME* en el Sudeste español, con los objetivos:

*Análisis de los distintos recursos y factores implicados en los procesos de desertificación*

*Determinación de los sistemas y técnicas aplicables para la lucha contra la desertificación*

*Formación, capacitación y extensión sobre esta temática*

Los presupuestos del *Ministerio de Agricultura y de Obras Públicas* para la contención de la erosión en España, implican hasta el año 2.000 casi 90.000 millones de pesetas.

La *Unión Europea* ha promovido por razones de renta agrícola, que no de lucha contra la desertificación, la disminución del 25% en la cabaña ovina y cabrúna española. Aún así, la cuota es de 20 millones de cabezas, lo que implica 1 por cada 2 personas.

En un mundo no estabilizado demográficamente ni con un nivel de calidad de vida mínimo generalizado, cualquier solución técnica global al problema de la desertificación está condenado al fracaso. Por ello en adelante, en esta exposición nos limitaremos a describir los conceptos, medidas y soluciones en la zona de ocupación geográfica de nuestra sociedad, donde los procesos de degradación constituyen el mayor riesgo medioambiental: en la Europa Mediterránea.

**Incluso en términos sólo económicos la degradación es un mal negocio.**

*Primero fue necesario civilizar al hombre con su relación con el hombre. Ahora es necesario civilizar al hombre en su relación con la Naturaleza, y los animales. (Víctor Hugo)*

## CICLOS Y CAMBIOS CLIMATICOS

En *La Sexta Extinción* (R. Leakey, R. Lewis, 1988), se defiende que en los últimos 600 millones de años, *Gaia* (La Tierra entendida como un ser vivo), ha experimentado al menos cinco grandes extinciones de vida (enfermedades), normalmente vinculadas con cambios climáticos drásticos, en las que desaparecieron del 35 al 95% de todas las especies. En cada caso se tardó al menos 10 millones de años en recuperar la biodiversidad. El último cambio climático traumático de envergadura, exceptuando las glaciaciones, (en la analogía usada pudieran considerarse achaques o resfriados), fue el provocado tal vez por el impacto de un meteorito hace 65 millones de años, y que provocó una nube de cenizas que enfrió por reflexión de la radiación solar entrante, la temperatura general del Globo. Estos autores y muchos más, defienden que actualmente se está produciendo el sexto cambio en la diversidad ecológica conocido. Como la última vez, no lo vamos a conseguir sólo modificando el clima, sino además actuando directamente sobre los ecosistemas. Sólo en las selvas tropicales, en los próximos 30 años desaparecerán entre el 10 y el 22% de las especies. Cuando la superficie de un ecosistema se reduce en un 90%, el número de especies que en él viven lo hace en un 50%. Contra la imagen subconsciente que nos hace pensar en **la desertización** como un proceso de saharización, hay que insistir que **puede darse en cualquier clima**, y que no es una consecuencia directa del incremento de temperatura, e incluso no tiene por qué ser por la disminución de la lluvia.

La desertización como proceso de degradación es consecuencia de la falta de protección del suelo por la vegetación, ya sea por:

- Cambio en el clima, que no permita el desarrollo de un sustrato vegetal suficiente, (desierto climático):
  1. insuficiente precipitación: menos de 200 mm/año
  2. temperaturas extremas: clima glacial o desértico
  3. deficiente distribución interanual de las lluvias: menos de 250 mm/año de media, pero con fuerte desviación típica (o sea, años muy distintos).
  4. estacional: fuerte sequía estival
  5. intensidades de tormentas: fuerte torrencialidad
- Sobreexplotación, (desertificación), que no permita la permanencia de un sustrato vegetal suficiente para la protección del suelo frente a la agresividad de la lluvia.

O sea, **el Desierto es una consecuencia directa de la agresividad de la lluvia y de la merma de la capacidad del medio en protegerse, no de la temperatura**, si bien el régimen termométrico es el que regula, como causa origen, los regímenes de vientos predominantes (movimientos de masas de aire), y por tanto, junto con estos, el régimen pluviométrico.

El clima es el que es, y no el que nos gustaría que fuera. No acepta la dictadura de la estadística, ni de los refranes, ni de las costumbres que hemos organizado en base a su supuesta e irreal regularidad. El clima no tiene la culpa de que sea Navidad o comiencen

las vacaciones: se comporta con su característica irregularidad, sobretodo en el Mediterráneo, y no por aceptar las costumbres sociales organizadas según comportamiento medio, el clima debe cumplir su parte. Los Ciclos y Cambios Climáticos existen *per se*, no en función de nuestra apreciación distorsionada e interesada (históricamente ha sido utilizada como inmejorable justificación, pues desvía la culpa a imponderables).

Sin excusas climáticas para autoengañarnos y justificarnos, los desiertos pueden existir por causas climáticas, que sí varían en una determinada zona producen evolución climática del ecosistema por la modificación de sus valencias ecológicas, pudiendo ser una evolución positiva, regresiva, degradativa o incluso desertización.

Sin embargo la desertificación es la consecuencia de la sobreexplotación, que para conseguir los mismos efectos podrá ser tanto menor cuanto más próximo esté el clima de la aridez, o sea, cuanto más frágiles sean los ecosistemas generados. Como puede apreciarse en el mapa adjunto, las zonas actualmente desertificadas cubren más extensión que las climáticamente áridas (desierto climático) y semiáridas (frágiles y de fácil desertificación), o sea, ambos aspectos: aridez y sobreexplotación, actúan sinérgicamente sobre zonas, tanto más cuanto menor sea la capacidad productiva.

El desierto del Sáhara se extiende hacia el Sur a una velocidad de hasta 50 Km/año (en Sudán los últimos 17 años ha avanzado 100 Km, y en Mali 350 Km). Desde hace 50 años el Sáhara ha crecido en 65 millones de hectáreas, afectando a 78 millones de personas. Pero no es que avancen las arenas, es que la presión demográfica con la sobreexplotación de los recursos naturales, (roturación extensiva, pastoreo de cabras, extracción de leña), reduce la protección del suelo por la vegetación en ecosistemas climáticamente frágiles por su irregularidad en el régimen de precipitaciones, que la lluvia se encarga de desertizar. Africa tiene como factores limitantes la sequía, que afecta a 2/3 de su superficie, y el bajo contenido en arcilla de sus suelos, que afecta a 4/5 (**la falta de arcillas implica arenosidad edáfica, y por tanto sequedad y pobreza en el suelo**), o sea, Africa está compuesta de ecosistemas muy frágiles.

La asociación de ideas entre desertización y arena puede justificarse con que el agua transporta a las arcillas en forma de suspensión coloidal, y a las arenas por arrastre. Así las primeras son más fácilmente transportables y con la disminución de la capacidad de retención del complejo arcilla-humus-agua (como se describirá más adelante), que es el que sirve de referencia para definir la productividad de un biotopo, se pierde capacidad de retención del agua o lluvia aparente para las plantas, que es su almacén de agua y nutrientes.

El proceso de degradación en el Sur del Sáhara es genéricamente, y a *grosso modo* como sigue:

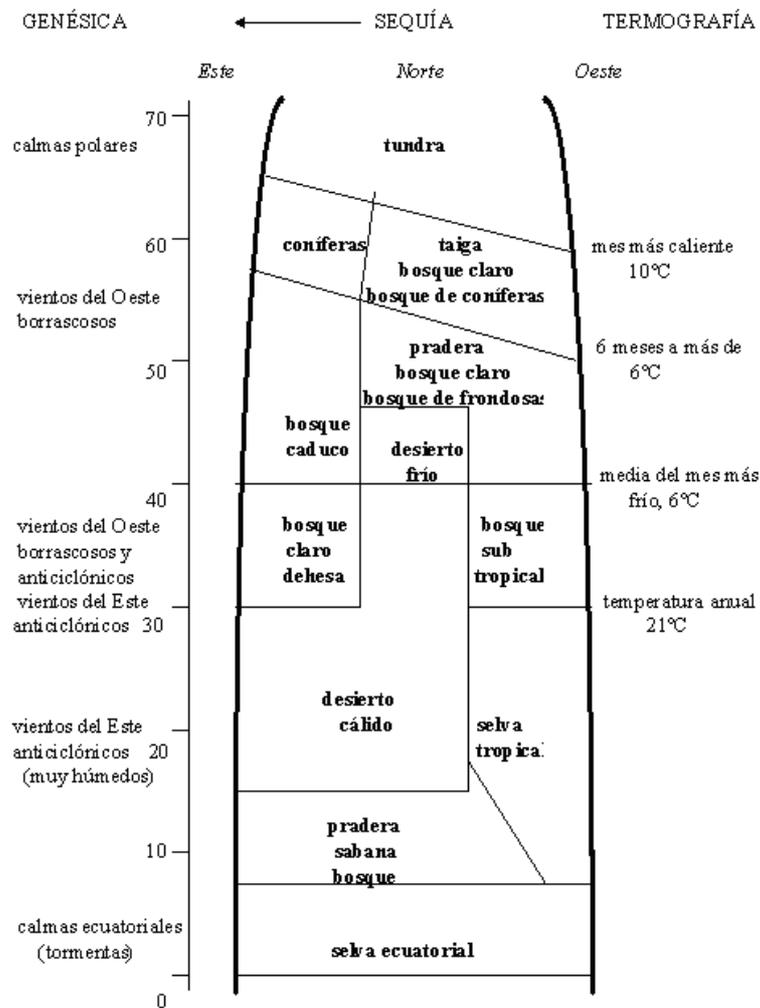
- 1. Ciclos o cambios climáticos endurecen la sequía en un sistema extremadamente frágil al estar situado en los límites del desierto climático, produciendo situaciones de postclímax.*
- 2. Se dé la circunstancia anterior o no, pero siempre sobre ecosistemas frágiles, la sobreexplotación del suelo por roturación, pastoreo y extracción de leñas, reducen la capacidad de la vegetación en proteger el suelo, y lo empobrecen acelerando por quema de rastrojos o por sobrecultivo la descomposición del complejo arcilla-humus-agua.*

3. El viento y las precipitaciones, sobretodo torrenciales, erosionan y transportan las arcillas, y se reduce por tanto la capacidad del suelo en retener agua.
4. El resultado son terrenos arenosos y extremadamente frugales y secos, aunque llueva suficientemente en años benignos, pues no pueden retener el agua necesaria.

Así el Cambio Climático, la Pertinaz Sequía, el Tiempo Loco, y otras excusas sociales para echar la culpa a imponderables en vez de reconocer nuestra cafrez, sólo tiene que ver en pocos casos con la Desertización, o al menos con su ritmo actual. Si bien es pues despreciable el posible Cambio frente a la Sobreexplotación, si debe ser considerado en la medida que a través de la modificación de la fragilidad, puede favorecer la Desertificación por sobreexplotación.

Analicemos las causas climáticas, y para definir cuales son las regiones desérticas por razones climáticas tomaremos la clasificación de *Regiones Fitoclimáticas de Austin-Miller*, en base al recorrido de los frentes meteorológicos, (vientos predominantes), régimen termométrico y pluviográfico.

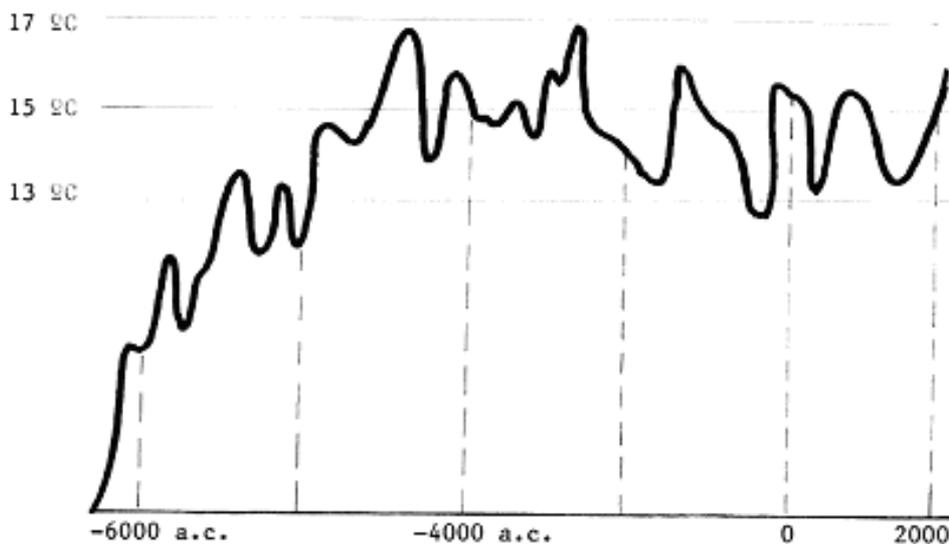
Sobre un continente ficticio y llano situado en el Hemisferio Norte, los tipos de clima directamente influidos por su situación y no por la orografía, y su vegetación bioclimática, según *A. Miller*, serían:



A las regiones anteriores hay que añadir los efectos de la orografía en los 3 regímenes mencionados del criterio de clasificación.

Como vemos, si los vientos predominantes se desplazan latitudinalmente, la sequía se endurece, o la temperatura se extremiza; y las regiones fitoclimáticas cambian de distribución geográfica. Es lo que sucede en la Cuenca Mediterránea, por su situación geográfica sujeta a grandes variaciones climáticas por desplazamiento de la posición habitual de los Centros de Acción (Anticiclones y Borrascas).

Vivimos en una época climática especialmente estable en términos de historia natural. En el último millón de años se han producido al menos 10 periodos fríos en el Hemisferio Norte de hasta más de 100.000 años de duración, frente a periodos intermedios más cálidos como el actual de entre 10 y 30.000 años, según se ha determinado a través de perforaciones de varios kilómetros en los hielos perpetuos de Groenlandia. La última glaciación terminó hace entre 8.000 y 11.000 años. Aún así, en estos periodos el clima no es constante, de hecho las pinturas rupestres del Sáhara muestran que hace unos 6.000 años en el actual desierto climático convivían antílopes, jirafas, leones, etc... con los humanos, los inicios del Imperio Egipcio proviene del aglutinamiento de tribus emigrantes de ese vasto espacio a la protección del Nilo y de las entonces ricas tierras del Norte. Durante el apogeo del Imperio Romano, del Islam, y la Sociedad Industrial, las temperaturas medias del mundo conocido fueron superiores que en otras épocas.



Modificaciones locales del régimen termométrico de hasta 4 y 5 °C permitieron la colonización de América por el Estrecho de Bering hace al menos 40.000 años, la expansión indoeuropea, la celta en la Edad de Hierro en un periodo más frío, el retroceso de la frontera Norte del Imperio Romano en favor de pueblos más adaptados, la expansión de los vikingos hacia Groenlandia y Norteamérica, (de hecho posteriores reducciones de temperatura erradicaron al hombre y sus ovejas de esta isla), e incluso fomentaron periodos de hambruna (y por tanto de epidemias), en la Alta Edad Media y Postrenacimiento (al periodo entre 1450 y 1850 se le ha dado en llamar el Pequeño Periodo Glacial, cuyo máximo en la segunda mitad del s.XVII es conocido como el Mínimo Mounder, cuando se constataron mercados sobre el Támesis helado, o la

victoria sueca sobre los daneses al poder trasladar ejércitos de isla en isla sobre el Báltico helado). Incrementos de la temperatura en Europa provocaron épocas de grandes cosechas, con importantes consecuencias históricas, expansión de imperios y guerras. Antes de cada cambio intelectual ha habido por lo general una temporada de altas temperaturas y buenos suministros, que permitieron a las mentes más privilegiadas dedicar sus recursos a crear, en vez de a subsistir; y antes de cada cambio político ha habido por lo general un periodo de menor temperatura y producción, que han provocado cambios sociales y tecnológicos, frutos de la necesidad. Las grandes invasiones se han producido invariablemente por reubicación de excedentes demográficos tras épocas de bonanza climática.

**El cambio climático no es pues una circunstancia actual.** Tal vez lo actual sea excepcional por su estabilidad, y porqué tenemos más capacidad real de inestabilizarlo que nunca. Veamos cómo...

La Humanidad no puede influir en la actividad solar (entre 1.976 y 1.979 se midieron variaciones de la energía solar de hasta el 0,4%, y durante el s.XX, según mediciones publicadas por *Michael Lockwood* en 1997, la actividad solar ha pasado a más que doblarse). Tampoco podemos influir en la órbita o el eje de giro de La Tierra, pero sí podemos modificar:

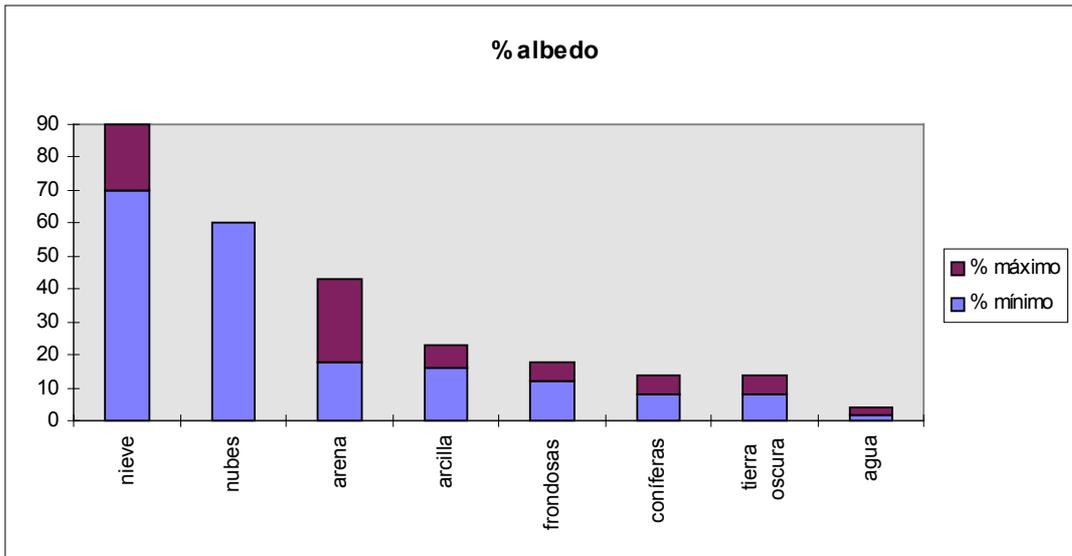
1. *el color de la superficie*
2. *la cantidad de partículas en suspensión (aerosoles)*
3. *la concentración de gases en la atmósfera*

La cantidad de energía recibida del Sol y la cantidad de agua existente son constantes, o al menos cíclicas, a efectos del clima actual lo que puede variar es:

- *la radiación reflejada por la superficie*
- *la radiación reflejada por la atmósfera*
- *la humedad relativa del aire*
- *la distribución de las temperaturas*
  - a) *Geográfica*
  - b) *Estacional*
  - c) *Diaría*
- *la distribución geográfica de las precipitaciones*

La radiación reflejada por el agua, la tierra y la vegetación no es la misma, la tierra por su color refleja longitudes de onda más cercanas al infrarrojo y además en mayor cantidad que la vegetación, (podría decirse que es más “brillante”). A mayor reflexión, mayor cantidad de energía devuelta a la atmósfera durante el día y menor durante la noche, y variación a extremos del régimen termométrico día/noche (en un desierto tóxico hace mucho calor de día y mucho frío de noche). Es lo que se denomina *Efecto Albedo*.

Si se deforesta se enrojece la tierra y se acumula calor, lo mismo que si en términos globales se disminuye la superficie de hielo o de nieve, haciendo subir la temperatura media general.



La radiación reflejada por la atmósfera puede ser la directamente recibida por el Sol, (visible e infrarrojo cercano), o la emitida por La Tierra, compuesta a su vez de la interna (15% de la recibida) y la devuelta por reflexión al espacio, (infrarrojo). El espectro de longitudes de onda en cada caso es diferente, de 0,29 a 5,3 micrómetros en el primer caso y de 3 a 80 en el segundo, (de noche apenas hay luz, pero percibimos un cierto calor), y es por tanto distinta su capacidad de reflexión frente a diferentes sustancias dispersas en la atmósfera.

El grado de reflexión varía la temperatura global del globo, (de una media de 15°C). Si aumenta el reflejo de los rayos solares directos, disminuye la temperatura, si baja el filtrado de radiación en el espectro infrarrojo, se incrementa. Es una de las consecuencias de lo conocido por *Agujero de Ozono*. Del mismo modo si aumenta la capacidad de reflejar radiaciones al espacio desde La Tierra, aumenta la temperatura global. Es lo que se denomina *Efecto Invernadero*.

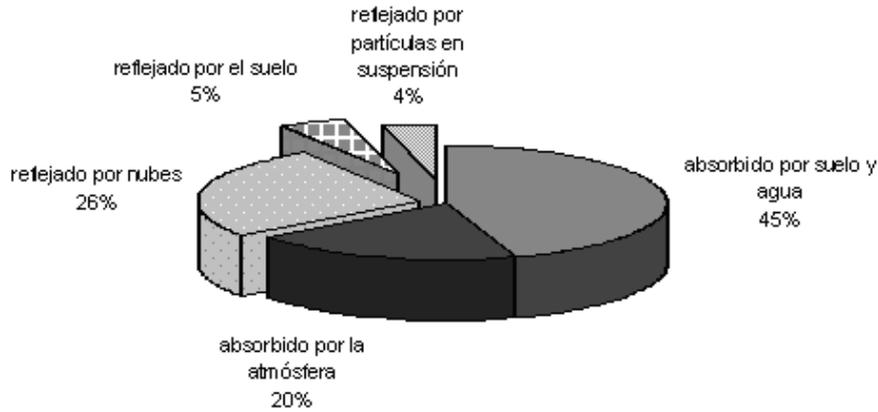


Fowle: albedo de la radiación ultravioleta, visible e infrarrojo cercano



Fowle: albedo de la radiación infrarrojo cercana y lejana

El grado de reflexión, puede cambiar en función de la concentración en la atmósfera de vapor de agua, anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>), ozono (O<sub>3</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), anhídrido sulfuroso (SO<sub>2</sub>), compuestos de nitrógeno (N<sub>2</sub>O, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>), cenizas volcánicas y polución, por citar solamente los actualmente más variables. En función de la longitud de onda directa o reflejada, unos afectarán a la radiación entrante más que a la saliente, como pueden ser el ozono, las cenizas volcánicas o los sulfitos, y el resto al revés.



Al cambiar la concentración de gases y partículas en suspensión, se modifica la temperatura y su distribución, circulación y dosificación.

Tan solo el 0,025% de la radiación recibida es aprovechada directamente por los organismos vivos (fotosíntesis).

La radiación se almacena en la atmósfera y dosifica para lograr el régimen termométrico en el que vivimos, pero no todos los compuestos tienen la misma capacidad de acumular calor, que de mayor a menor corresponde a:

1. vapor de agua
2. dióxido de carbono
3. metano
4. óxidos de nitrógeno
5. ozono
6. clorofluorocarbonados (CFC)

Si estos gases no existieran la temperatura media de la atmósfera sería de 33 °C menor.

Gas	concentración	contribución °C
H <sub>2</sub> O	0-4%	20,6
CO <sub>2</sub>	0,0355%	7,2
O <sub>3</sub>	0,03%	2,4
N <sub>2</sub> O	0,3%	1,4
CH <sub>4</sub>	1,7%	0,8
CFC	2%	0,6

La reducción de la capa de ozono, que actúa de capa de reflexión, aumenta la radiación entrante, y por tanto la temperatura, ya que en circunstancias normales su acción de filtro refleja:

<b>Ultravioleta</b>	<b>99%</b>	<b>entre 0,29 y 0,43 micrómetros</b>
<b>Visible</b>	<b>61%</b>	<b>entre 0.43 y 0.78 micrómetros</b>
<b>Infrarrojo cercano</b>	<b>40%</b>	<b>entre 0,78 y 3 micrómetros</b>

La energía saliente lo hace en longitudes de onda entre los 8,5 y 11 micrómetros, en lo que constituye la ventana infrarroja. Además los rayos ultravioleta que deja pasar el ozono, ayudan a la formación de nubes brillantes que por su albedo disminuyen el paso de radiaciones solares entrantes.

De los procesos químicos atmosféricos que afectan a la capacidad de reflexión, a efectos de cambio o ciclo climático, nos referiremos al ciclo del CO<sub>2</sub> por su importancia relativa frente a otros compuestos en la reflexión de energía, y por tanto de capacidad de evaporación del agua que más tarde condensará en lluvia:

*es el principal producto de la combustión  
es el alimento de la fotosíntesis*

La producción anual de CO<sub>2</sub> es de 60.000 millones de toneladas, de las que de origen natural corresponden 54.000, distribuidas del siguiente modo:

hongos	25/30.000
bacterias	10/15.000
vegetación	15.000
animal	5.000
combustión	6.000

(Otras estimaciones multiplican la producción anual por combustión hasta por 4)

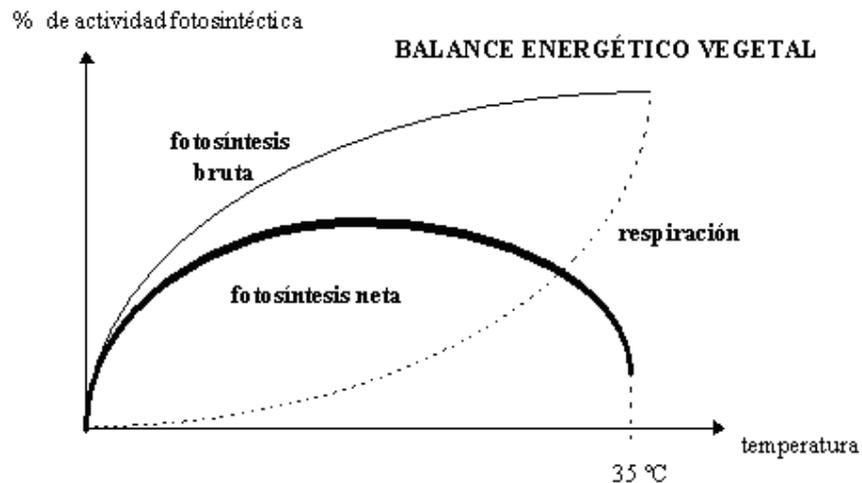
Dentro de los acuerdos de la *Conferencia de Río*, 153 países firmaron un convenio vinculante para frenar el Cambio Climático, comprometiéndose a estabilizar las emisiones de CO<sub>2</sub> en el año 2.000 al mismo nivel de 1.990. Dicho acuerdo sólo entrará en vigor cuando al menos  $\frac{1}{4}$  de los parlamentos nacionales lo hayan ratificado. Cuando sucedió la *Conferencia de Berlín* de 1995 monográfica al respecto, todavía no se había llegado a esa cifra. El origen de la combustión no natural, puede dividirse en 4 causas que aproximadamente cooperan a partes iguales en las cifras anteriores, y que por orden de importancia son:

- 1. transporte (combustión de derivados del petróleo)*
- 2. energía (combustión de carbón y petróleo)*
- 3. incendios (combustión de madera)*
- 4. industria (combustión de carbón y petróleo)*

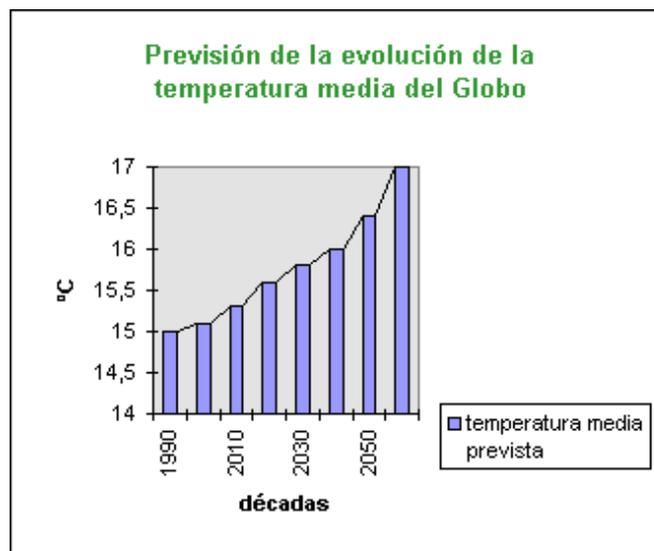
Los organismos fotosintéticos también respiran, o sea, consumen oxígeno, pero su tasa de producción/consumo es globalmente positiva, (las raíces o los vegetales durante la noche no consumen anhídrido carbónico). Para mantener constante la concentración de

CO<sub>2</sub> en la atmósfera bien se puede incrementar la fotosíntesis o reducir la combustión. A mayor concentración, aumenta el efecto invernadero y sube la temperatura, lo que provoca un incremento en la temperatura del agua del mar, y a su vez un aumento de la actividad fotosintética del fitoplancton, que supone las 4/5 partes de la producción de O<sub>2</sub> global, disminuyendo así la concentración de anhídrido carbónico, efecto invernadero, reflexión de energía interna, temperatura y evaporación.

Es más, cuanto mayor es la concentración de CO<sub>2</sub> a disposición de los organismos vegetales marinos y terrestres, mayor es también su tasa global de crecimiento, o sea la combustión en último término provoca un más rápido crecimiento, *Efecto Sumidero*, sobre el que se discute hoy si es o no suficiente para compensar a largo plazo las consecuencias de la utilización de combustibles fósiles. A corto plazo parece claro que no es así.



En el conjunto del Globo la actuación humana ha reducido del orden del 40% la actividad fotosintética de la vegetación terrestre, lo que es casi el 10% de la capacidad total de conversión de CO<sub>2</sub> en O<sub>2</sub>. Se estima que desde el inicio de la Revolución Industrial, entre el aumento de emisiones y la disminución de la actividad fotosintética, se ha incrementado del orden del 25% la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, que es del orden del 0,03%.



Este último quinquenio (1990-1995) ha registrado la temperatura media más alta desde hace 200 años, y desde que se disponen de datos estadísticamente tratables (1860-1995), la temperatura media del Globo ha aumentado en 1,5°C, de los que según el *IPCC*, 0,4 °C corresponden al intervalo 1960-1990, llegándose a dar cifras de calentamiento medio adicional en la última década del siglo de hasta 0,6-0,9 °C.

Contra lo socialmente aceptado, no está claro que ello no sea natural, o al menos estadísticamente irrelevante, que si no lo fuera tal vez no sea más consecuencia de la deforestación (disminución de consumo de CO<sub>2</sub>), que de la combustión de reservas fósiles, o tal vez que tenga otra génesis de mayor importancia relacionada o no, como pueda ser modificaciones en el porcentaje de vapor de agua presente (humedad), ya sea por aumento de la temperatura global o por incremento de la superficie marina.

Es complejo, alteraciones de las variables y mecanismos de compensación con cada uno su ritmo, y por tanto su capacidad de estabilización dependiente de que la velocidad que modifiquemos el medio, tal vez mayor o no de la que es capaz de asumir. Existen diferentes intentos de cuantificar esta circunstancia y si bien difieren en los valores, todos coinciden en que la velocidad de incremento de las emisiones de CO<sub>2</sub> es superior a la velocidad de regulación no drástica del medio. Según los autores las cifras actuales y previsibles en las próximas décadas oscilan entre los 0,07 y los 0,34 °C/año, (del orden de 2 vatios por metro cuadrado, que es el 0,1 o 0,2% de la energía total recibida en superficie). En cualquier caso se dan valores para los próximos 50 años de hasta 2 °C, y para 100 años entre 1 y 5°C.

Si por otra circunstancia, como pudiera ser una enorme erupción volcánica, la colisión de un meteorito o una guerra nuclear, se produjera una disminución de la temperatura global, el proceso sería contrario. Doblar la concentración total de CO<sub>2</sub>, implicaría un aumento de la temperatura media mundial de 8°C, y dividirla a la mitad, un descenso de 5°C (sin considerar mecanismos naturales de compensación). Ello implica que las valencias ecológicas se están modificando, y donde el factor limitante es la temperatura, se está provocando una evolución de los ecosistemas, (una mayor temperatura implica una mayor transpiración de las plantas y por tanto mayor necesidad de agua). El problema es que la velocidad de cambio debe ser suficiente para que los mecanismos de adaptación natural creen ecotipos con más amplias valencias. Si no es así nos encontraremos con una regresión de la biodiversidad, que cuando llega a la extinción de especies pasa a ser degradación.

A pesar de conocer todo ello, y de los acuerdos internacionales (con la *Conferencia de Kyoto* de 1997 van 3 reuniones sobre el Cambio Climático en esta década), la tendencia es a aumentar. En Europa o EE.UU. la cuestión ya no es de supervivencia, ya ha pasado a ser de coste bienestar/impacto, y tiene tendencia por tanto a la estabilización de emisiones. Sin embargo en países en vías de desarrollo, de nuevo vuelve a ser una cuestión de prioridades: primero el asegurar un mínimo nivel de vida a la población, y después la calidad del medio ambiente. Si China, que dispone de casi la tercera parte de las reservas mundiales de carbón (combustible que genera la mayor cantidad de dióxido de carbono por caloría), alcanzara los mismos porcentajes de consumo de energía per cápita que EE.UU., la emisión total de CO<sub>2</sub> a la atmósfera se triplicaría.

Las previsiones de cada país confirman la tendencia, los desarrollados se han puesto límites por encima de sus emisiones actuales (si bien no las cumplen), y los no desarrollados ni siquiera eso.

Ejemplos de las previsiones de incremento desde 1990 al 2000:

<b>Australia</b>	<b>116%</b>
<b>Nueva Zelanda</b>	<b>116%</b>
<b>España</b>	<b>115%</b>
<b>Austria</b>	<b>111%</b>
<b>Noruega</b>	<b>111%</b>
<b>Canadá</b>	<b>111%</b>
<b>EE.UU.</b>	<b>104%</b>
<b>Suecia</b>	<b>104%</b>
<b>Japón</b>	<b>103%</b>

De los compuestos añadidos extraordinariamente a la atmósfera, que cambian la reflexión, son consecuencia del aprovechamiento industrial de recursos, o sea residuos lanzados al medio a una velocidad superior a la que es capaz de absorber, como los compuestos organofluorados que reducen la concentración de Ozono en las capas altas, incrementando el “agujero” a un ritmo del 5% anual, (lo que es relativamente altísimo, teniendo en cuenta que la vida media de una molécula de O<sub>3</sub> es de 40 años); o la combustión térmica que produce partículas en suspensión, hidrocarburos,...; o la contaminación con SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O, que al reaccionar con el vapor de agua en presencia de luz provocan disminución de la humedad relativa y ácidos; etc... Otros en cambio, son consecuencia de catástrofes naturales como ha sido recientemente la erupción en Junio de 1991 del volcán Pinatubo en Filipinas, que produjo un descenso global de las temperaturas de 0,5°C, y no tan naturales como el incendio intencionado de los pozos kuwaities en la Guerra del Golfo, o las roturaciones salvajes de los bosques tropicales de Brasil e Indonesia. En si mismo, a medio plazo, es posible que ello no implique necesariamente una disminución de la temperatura global, pues un incremento de las partículas en suspensión en la atmósfera implica una mayor capacidad de formación de nubes (el vapor de agua para condensar y formar nubes necesita un soporte sólido o aerosol), que si son altas templan, si medias de día refrescan y de noche templan, y si son bajas refrigeran, y por tanto un incremento del albedo a la energía entrante y una disminución de la temperatura. Dado el manifiesto incremento de la temperatura media del globo en los últimos años, a corto plazo este mecanismo no es suficiente para compensar los efectos sobre la reflexión de energía que tienen el *Efecto Invernadero* y el *Agujero de Ozono*. ¿O sí?.

Son tantos los factores, variables, mecanismos de compensación, que difícilmente se consigue simular uno de los procesos, siendo casi imposible ponderar varios de ellos sin inventarse las reglas. O sea, no sabemos nada de nada y los juegos de simulación por complejísimos modelos climáticos no dejan de ser eso: juegos.

De hecho hay teorías que difieren de la del *Efecto Invernadero* en tanto que consideran a éste irrelevante respecto a la variación de la actividad solar (*Christiansen y Lasen 1991*, que han hallado correlaciones entre dicha actividad y la temperatura media en éste siglo), asignando una relación directa entre el porcentaje de nubes global y la intensidad de la radiación cósmica que condiciona la heliosfera (*Svensmark, 1996*), habiéndose medido disminuciones de hasta el 3% de la capacidad reflectora de la masa nubosa total en las últimas décadas.

La Naturaleza es sabia, y si bien a corto plazo no es capaz de reaccionar con suficiente velocidad a un incremento de temperatura, tal vez se lo tenga pensado a largo plazo y disponga de otros mecanismos de reequilibrio. *Willy Dansgaard*, climatólogo danés y su equipo, a través de modelos de simulación basados en análisis de isótopos de oxígeno en los hielos de Groenlandia, prevé un próximo nuevo Pequeño Periodo Glacial. Puede que estos procesos de calentamiento nos sean hasta beneficiosos. Incluso hay investigadores que argumentan que los incrementos de la temperatura medidos en la última mitad de éste siglo no son aplicables a las capas altas de la atmósfera, que mantienen su temperatura media y contradicen a todas las teorías anteriores.

La tan clamada fusión gradual del agua de los polos (en menor medida), junto con el descenso de la densidad del agua con la temperatura, pueden causar la inundación de las zonas cercanas al mar, donde viven las 2/3 partes de la población mundial. Según datos del IPCC (*Panel Intergubernamental para el Cambio Climático*), en este siglo el nivel del mar ha subido una media de entre 10 y 25 cm. Las medidas actuales del satélite *Topex-Poseidon* indican una media anual de 3 mm y las previsiones indican un aumento medio de hasta 20 cm hacia el año 2.030 y de entre 30 cm y 1m hasta final del siglo próximo. En España 1/3 de la población se concentra en el litoral, que produce un 30% de la capacidad agrícola nacional.

La previsión en los próximos años para los puertos de la Cornisa Cantábrica está en incrementos del nivel medio de entre 45 y 60 cm. La altitud máxima de las Islas Maldivas es de 2m, lo mismo que 300 atolones más en el Pacífico. 1/5 parte de Bangladesh está a menos de 4,5 m y es además la más productiva; buena parte de Florida, los deltas del Nilo, Rin, Missisipi,... podrían quedar anegados. Cada vez es más corriente que se tengan que instalar pasarelas de madera en las plazas y calles de Venecia cuando hay marea alta.

El mecanismo funciona también como un proceso de autorregulación de la temperatura atmosférica. Si se fundieran los hielos de los polos, se produciría a la vez que un incremento adicional de energía por el cambio de estado del agua, un incremento de la superficie del mar, y al desarrollarse el fitoplancton en las capas superficiales, un incremento de la superficie aprovechable por este, lo que unido a una mayor temperatura produciría una actividad fotosintética superior a la actual, que reduciría la concentración de CO<sub>2</sub> en el aire, y por tanto el efecto invernadero. Para tener una idea de la magnitud del proceso, pensemos en que entre el momento más frío de la última glaciación (hace más de 18.000 años) y el más cálido actual, la diferencia de nivel del agua del mar ha alcanzado en algunos puntos los 150 metros.

El hielo ocupa el 11% de la superficie del Globo, y si bien es cierto que en el Hemisferio Norte es patente el retroceso de los glaciares y de la superficie del casquete polar, también se ha podido constatar que su grosor en su parte más meridional se incrementa. También se ha comprobado que al contrario, los hielos antárticos están aumentando su superficie (como siempre no sabemos la fiabilidad estadística de afirmaciones ligeras como esta por no conocer su variabilidad).

Pero la temperatura no tiene un efecto directo sobre la desertización del suelo, (sí en la sed de las plantas), que como hemos dicho es una consecuencia directa de lo que llueve y y del uso de los recursos. Si varía la energía, cambia la evaporación y la capacidad de retención de agua en la atmósfera, y por tanto uno de los elementos de mayor peso en la reflexión de energía: el vapor de agua que condensa en nubes, (reflexión del 60%). Ello *a priori* no es ni bueno ni malo, mientras suceda lentamente, sin embargo al no ser la

temperatura uniforme en el globo, las variaciones en los gradientes de su distribución pueden beneficiar a algunas regiones y perjudicar a otras, la tendencia del ciclo corto actual y la historia expresan síntomas de que probablemente en las zonas más frágiles pueda producirse una reducción y extremización del régimen pluviométrico. Los modelos de simulación y previsiones realizadas por diferentes organismos estiman que las regiones árticas tendrán incrementos de temperatura del doble de la media, y puede hacer retroceder de forma muy importante la tundra; la *OMS (Organización Mundial de la Salud)* advierte del riesgo de que enfermedades como la Malaria se popularicen donde hasta ahora no se conocían (se llega a hablar de 80 millones de nuevos casos en un futuro próximo); el *INIA (Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias)*, no valora pero sí advierte de futuras pérdidas en la productividad agrícola española.

Todo ello puede incluso agravarse si el reequilibrio natural conduce a redistribuir las regiones productivas del Globo y lo hace además de forma que perjudique a los que menos tienen (como por desgracia suele suceder), pues la población está distribuyéndose en los últimos tiempos más en función de aspectos sociopolíticos que productivos (la explosión demográfica es tanto mayor cuanto menor es el nivel de desarrollo de la región). Puede que el reequilibrio implique que zonas agrícolas ya de por sí pobres, además disminuyan su productividad. O puede que no.

Si aumenta o disminuye la temperatura, la humedad relativa, que es la cantidad de agua en la atmósfera, disminuye o aumenta, y la “voracidad” del aire por conseguir saturarse de agua o velocidad de evaporación también cambia. Existen diferentes modelos de simulación y sus resultados no son concluyentes pues unos advierten que incrementos de la temperatura global producirán incrementos de pluviosidad, y otros al contrario, pero todos afirman que sí la distribución termométrica varía, los regímenes pluviométricos locales también: cambian las reparticiones de energía diaria y nocturna por reflexión, temperaturas de las masas de aire frío y caliente, la fuerza y posición de anticiclones y borrascas, la potencia de los frentes, las precipitaciones convectivas.

Así pues contra la idea subconsciente de confundir desertización con saharización, hay que decir que si bien es falsa, la modificación del régimen termométrico es la más importante causa indirecta de la variación del régimen pluviométrico, que es el origen directo de la desertización, llueva poco o mucho.

La pluviosidad es muy variable de año en año, pues como vemos se superponen ciclos y procesos de reequilibrio, y para tratarla estadísticamente se precisan series muy largas. Con los datos actuales, los intentos de analizar si existe alguna tendencia a mayor o menor pluviosidad global no permiten conclusiones definitivas. Las series estadísticas mínimas que recomienda la *FAO* para conseguir varianzas aceptables son:

<b>islas</b>	<b>25 años</b>
<b>costas</b>	<b>40 años</b>
<b>llanuras</b>	<b>40 años</b>
<b>montaña</b>	<b>50 años</b>

Estas cifras pueden ser suficientes para detectar tendencias en ciclos cortos, pero para diferenciar un ciclo largo de un cambio provocado por el hombre son insuficientes, y hay que acudir a modelos de simulación causa-efecto, a análisis de hielos y/o sedimentos perpetuos, y a consideraciones históricas, y medir de modo indirecto.

Entre 1.880 y 1.980 se han vivido 20 años húmedos, 23 regulares y 53 secos. Recientemente en España el decenio más lluvioso conocido ha sido los 60, y el más seco los 80 (485 mm/m<sup>2</sup> cuando la media del siglo es de 627 mm/m<sup>2</sup>). Nuestra sequía crónica puede que no sea tan actual (recordemos la famosa frase “**pertinaz sequía**” de hace décadas, también entonces utilizada como justificación), o sí. Las estadísticas y previsiones realizadas por el *Programa de Medio Ambiente* de la ONU (PNUMA, 1988), en el *Plan Azul para la Cuenca Mediterránea*, las prospecciones de los *Programas Medals y Efeda* de la Unión Europea (1992, 1993), y las del *Instituto de Recursos Mundiales* (1992), entre otros son pesimistas a corto plazo, ya que afirman que la Cuenca Mediterránea se halle encaminada a un incremento de las temperaturas, significativa disminución de las lluvias, acentuación de las sequías, y en consecuencia, aumento de la fragilidad de los ecosistemas (necesidad de menor nivel de actuación inadecuada del hombre sobre el medio para mantener el mismo ritmo de degradación).

En cualquier caso a efectos de desertización, nos interesa no sólo conocer la evolución de la cantidad de precipitación, sino además posibles variaciones en su distribución geográfica, por su posible efecto sobre los ecosistemas más frágiles, y en la torrencialidad (forma de llover).

Como hemos dicho nos centraremos en el estudio de la desertización en la Europa Mediterránea, por ello pasaremos brevemente a describir la circulación atmosférica que nos afecta, o sea la del Atlántico Norte.

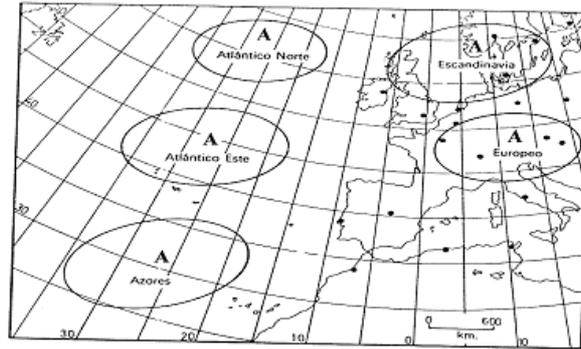
La Tierra gira, y mientras en unos lugares es de día y el Sol calienta, en otros es de noche y la superficie se enfría. Por ello se produce una circulación de aire en superficie de Oeste a Este, consecuencia de la *Corriente de Chorro* en altura, (10 a 11 Km en nuestra latitud):

- *Invierno*: situada a latitudes entre los 30° (Norte de Africa), y 45° (Mar Cantábrico), con velocidad de unos 150 Km/h
- *Verano*: situada por encima de los 50° (Islas Británicas) con velocidad de unos 70 Km/h (la mitad de fuerza)
- *Primavera y Otoño*: situada entre ambas latitudes, pero con recorridos y velocidades más irregulares, pudiendo incluso superar las anteriores

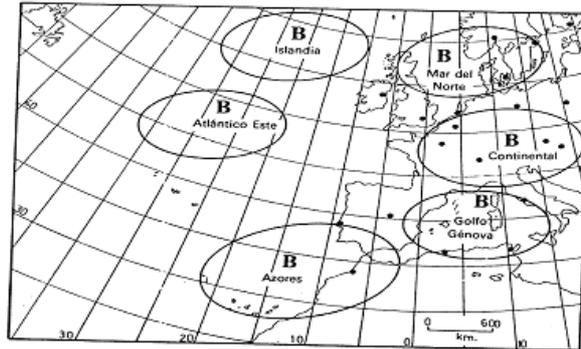
Las irregularidades en fuerza y recorrido de la *Corriente de Chorro* definen la distribución de las precipitaciones. Como el aire caliente es menos denso y sube, se provocan al tiempo de la circulación horizontal antes mencionada, una circulación vertical que crea *Centros de Acción*, por donde sube y baja el aire en espiral en sentido según la aceleración de *Coriolis*: anticiclones y borrascas. Su situación y potencia depende de:

- irregularidades en la *Corriente de Chorro*
- situaciones convectivas continentales
  1. anticiclón europeo de Invierno
  2. borrasca continental de Verano

Las situaciones más características en superficie son:

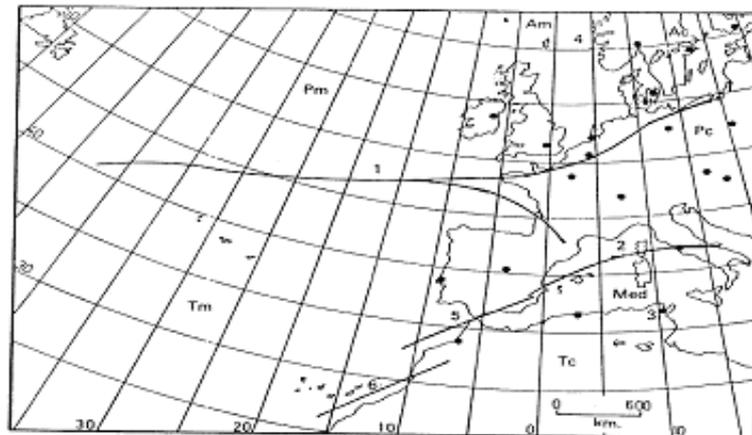


Centros de acción positivos.



Centros de acción negativos.

Los *Centros de Acción* mantienen separadas y juntan (por girar en sentido contrario), las diferentes *Masas de Aire*, formando los *Frentes*.



Masas de aire y frentes: 1: polar; 2: mediterráneo; 3: mediterráneo-sahariano; 4: ártico; 5: atlántico-mediterráneo; 6: alisios; Med: masa de aire mediterránea.

El contacto de las *Masas de Aire* de diferentes temperaturas provoca, en función de su grado de saturación de agua, precipitaciones, ya sea por situaciones advectivas (contacto horizontal entre masas de aire), como convectivas (contacto vertical). Si se modifican la fuerza y/o recorrido de la *Corriente de Chorro*, o los gradientes termométricos de las *Masas de Aire*, cambia la distribución de las precipitaciones.

Por todo ello una variación no sólo en la temperatura global, sino en la distribución de esta, provocará un cambio no sólo en la pluviosidad global, aún más en su distribución tanto geográfica (recorridos y posición), como en intensidades (fuerza y gradientes). Si como consecuencia del correspondiente reequilibrio, se produce una disminución de la

precipitación o un aumento de la torrencialidad en un ecosistema frágil, situado en el límite de la desertización obtendremos bien un ecosistema postclimácico (ciclo corto); o bien un proceso regresivo de desertización (ciclo largo, ciclo de reequilibrio y cambio). Las principales causas por las que puede darse una modificación en la distribución de las precipitaciones en la Cuenca Mediterránea Occidental, o sea modificaciones en la fuerza, recorrido y regularidad de la *Corriente de Chorro* y *Centros de Acción*, son:

- influencia del *Efecto Albedo*
- extremización del gradiente termométrico entre masas de aire frío y caliente
- desplazamiento de situaciones anticiclónicas o borrascosas
- modificación de las corrientes marinas
- fusión de parte del agua dulce almacenada en los polos

La Humanidad puede provocar el *Cambio Climático* no sólo a través del *Efecto Invernadero*, (modificación de la reflexión de energía saliente), o el *Agujero de Ozono*, (modificación de la reflexión de energía entrante), *Albedo*, *Sumidero*, *Aerosol*,... sino aún más a través de la modificación de las anteriores variables (modificación de los centros de acción), y por tanto de la distribución geográfica de las precipitaciones, (aunque no es tan fácil pues la Naturaleza se protege).

El *Efecto Albedo* y las modificaciones en la capacidad de reflexión de la atmósfera frente a la radiación saliente, tienen influencia en el gradiente termométrico día/noche y en la formación de tormentas convectivas de Verano. Los gradientes termométricos entre masas de aire frío, polar, y aire caliente, tropical, pueden variar en función de la inclinación del eje de rotación terrestre, pues ello influirá en el ángulo de incidencia de los rayos solares, y de la reflexión de dicha radiación, ya sea entrante, como saliente.

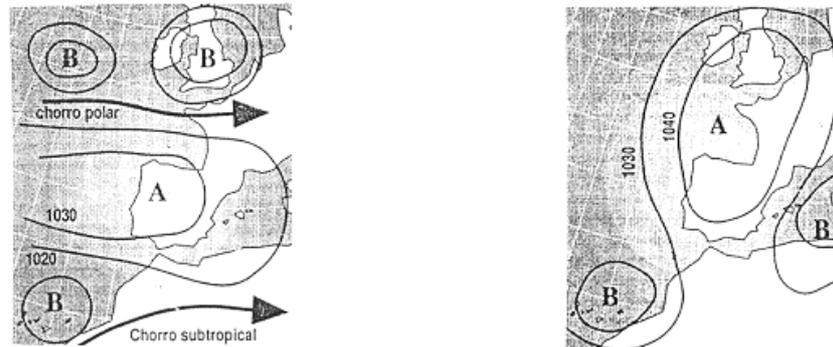
Gracias o por culpa de la Luna, el eje de rotación de La Tierra respecto a la órbita está torcido y no es constante, sufre ciclos de *precesión* (giro) de 47° cada 25.790 años y *nutación* (aproximación), cada 19 años. El ángulo de recepción de los rayos solares varía perpendicularmente, y en latitudes medias y altas las diferencias termométricas son importantes. No conocemos con seguridad, aunque existen indicios, si el eje de rotación puede sufrir modificaciones no cíclicas importantes. En 1.930 el astrónomo yugoslavo *Milankovitch*, proponía modelos de simulación de los ciclos glaciares basado en estas variables y en las modificaciones de la forma de la eclíptica (órbita terrestre), que se han comprobado con elevada fiabilidad hace pocos años.

La clásica división de la Península Ibérica en Húmeda y Seca viene determinada en buena medida por la posición del **Anticiclón de las Azores**, y por la orografía, que distribuye las cadenas montañosas de Este a Oeste en el Norte y Centro y Sur, y de Noreste a Suroeste en Levante. El Anticiclón que con mayor o menor potencia suele estar situado impidiendo el acceso directo de las corrientes de aire húmedo, que ha recorrido el Atlántico de lado a lado y se ha “mojado” de agua, fuerza por el sentido dextrógiro que le da la aceleración de *Coriolis* al aire a entrar en la Península desde el Norte o Noroeste. Allí se encuentra con una orografía que le obliga a subir, y por tanto enfriarse a una media del orden de 0,5/0,6 °C por cada 100 metros. Ello provoca un aumento de la humedad relativa, que hace que llegada la saturación, precipite en forma de lluvia orográfica. Acto seguido el aire baja y se calienta de nuevo, (*Efecto Foëhn*), aún más de lo que venía, por la cesión de calor que ha hecho el agua al condensar. Se distribuye hacia el Sur y Sureste, secando y calentándose aún más el aire con cada sistema montañoso que asciende y desciende. El resultado es que el 10% del territorio

recibe el 40% de las lluvias, quedando irregularmente repartidas entre el 90% restante el otro 60%.

La posición y fuerza del Anticiclón experimenta variaciones anuales consecuencia de la distribución de las masas de aire y sus temperaturas, y de las modificaciones del eje de rotación terrestre. Incluso puede suceder que el desplazamiento lateral hacia el Este lleven a situaciones de sequía en toda la Península.

#### ANTICICLONES TÍPICOS DE SEQUÍA



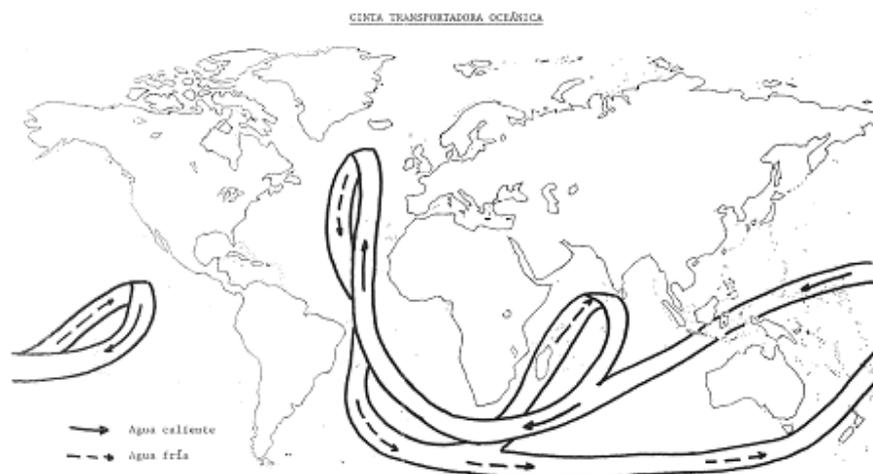
Pequeñas variaciones en la posición del *Anticiclón de las Azores* produce diferentes distribuciones de la lluvia. Si baja o disminuye de fuerza, se incrementa la uniformidad de las precipitaciones en la Península, el Mediterráneo, e incluso en el Norte de Africa, lo cual históricamente pudiera explicar porqué en tiempos prerromanos florecieron culturas en lugares donde ahora campa el más puro desierto climático. De hecho existen interesantes teorías que explican climáticamente el apogeo de civilizaciones como la de Micenas, e incluso leyendas como la del *Diluvio Universal* (del que se habla en 168 diferentes culturas en todo el Globo), o el hundimiento de la *Atlántida*.

Con tal cantidad de variables se aprecia porqué las simulaciones teóricas climáticas son poco determinantes, y en ocasiones hasta contradictorias. Pero aún hay más, las corrientes marinas funcionan como distribuidores de calor y frío, además de potenciadores de la capacidad de disolución del CO<sub>2</sub>. Su potencia condiciona variaciones locales del clima, sobretodo suavizándolo. Sus efectos serán función de su recorrido y temperatura, por las siguientes causas:

- constantes
  - *gravedad del Sol y la Luna*
  - *orografía submarina y de las costas*
  - *rotación de La Tierra*
- variables
  - *gradiente termométrico*
  - *salinidad*



Una característica clave del Atlántico Norte es el flujo de agua caliente de superficie desde los trópicos provocando en las costas un clima más templado que el interior continental. El agua fría y el agua salada son más densas que la caliente y dulce. La corriente atlántica norte se enfría, y por tanto aumenta de densidad, y pierde salinidad a medida que recibe menos radiación y el aporte de ríos y deshielo, de forma que se hunde hacia el fondo, gira y se vuelve hacia el Sur en forma de corriente profunda y salina. El proceso es conocido como “*Cinta Transportadora Oceánica*”. Si aumentara el agua dulce en el Atlántico Norte, consecuencia de que el incremento de la temperatura global produjera una fusión parcial de los hielos polares, el agua dulce, aún siendo más fría, tardaría más en hundirse, iría más al Norte y se debilitaría la corriente profunda salina, y con ella, por succión, el transporte consecuente de agua caliente hacia el Norte. Ello podría llevar a un enfriamiento del Hemisferio Norte hasta que el agua fuera tan fría que se hundiría aún sin ser salina, potenciando de nuevo las corrientes y calentando otra vez las costas del Norte. Este proceso no es gradual, sino que se da bruscamente. De hecho con esta tesis pueden explicarse las glaciaciones. Similares planteamientos en el Pacífico Ecuatorial explican las alteraciones llamadas “El Niño” y “La Niña”, por el bloqueo de la cinta transportadora en su emergencia en las costas del Perú, anunciando sequías y escasez de pesca.



De nuevo insistir en no utilizar interesadamente, como justificante o culpable de nuestras acciones no sostenibles en el medio, a los Cambios Climáticos: 27 de Febrero de 1998, Esmeralda, ciudad del Norte del Ecuador. Titular de prensa “El Niño provoca 30 muertos en la explosión de un acueducto por las tormentas que provoca”. Todos contentos: la culpa no es de nadie, modo barato y efectivo de no asumir responsabilidades. Pues bien, El Niño es una alteración natural y cíclica, e introduce irregularidades en las medias estadísticas que calculamos; pero no por ello es culpable de que se produzca un corrimiento de tierras. Si no se hubieran deforestado las laderas, y/o colocado el oleoducto o las viviendas donde estaban, el Niño no tendría ningún protagonismo.

Es preciso **diferenciar lo que son cambios, reequilibrios y ciclos climáticos**, pues los mismos darán lugar a ecosistemas postclimáticos, que en el primer caso tendrán tendencia a la regresión y en el último a la permanencia. Se ha comentado que el nivel de energía que recibimos del Sol y la inclinación del eje de rotación tienen ciclos, e incluso que los procesos de defensa de *Gaia* contra variaciones de temperatura también se comportan por ciclos de reequilibrio, pero no los conocemos todos en conjunto: cuantificación de efectos y cadencias. Habrá que diferenciar entre estos y aquellas circunstancias extraordinarias que provoquen variaciones permanentes del clima.

Como vemos, la relación causa-efecto es clara, pero muy compleja, y los modelos de simulación ensayados hasta la fecha tratan sólo parcialmente la dinámica de ciclos y cambios climáticos. No disponemos de modelos globales que permitan medir los efectos cuantificando las causas, que sí son estimables y conocidas. En consecuencia se está intentando analizar estadísticamente la modificación local de los regímenes pluviométricos, (efecto), pero como hemos apuntado anteriormente, las series de datos frente a la variabilidad de las precipitaciones, hacen difícil demostrar científicamente afirmaciones que hoy se dan vulgarmente por asumidas. Calculamos simulaciones en base a procesos a su vez simulados, y según lo hagamos nos dan datos diferentes, lo que al menos indica que no tenemos una idea clara de lo que sucederá. No está claro si estamos en una fase cíclica o se está produciendo un cambio excepcional, sin embargo conociendo las causas que provocan estos, sí se puede afirmar que en el caso de que así sea, cuando lo demos tal vez sea tarde, (o no, si los procesos de reequilibrio natural funcionan suficientemente).

Algunos estudios afirman que todavía no ha comenzado el *Cambio Climático*, otros sin embargo dicen que sí, de cualquier modo el riesgo existe. La tendencia de los 30 últimos años (ciclo corto) es efectivamente a una redistribución de las precipitaciones:



En Europa en dicho plazo se ha reducido hasta un 20% la precipitación en el Sur y aumentado un 20% en el Norte. La temperatura media global ha subido 0,5 °C. No es información estadísticamente fiable pues se refiere a un periodo excesivamente corto de tiempo, pero indica una tendencia, al menos coyuntural, y riesgo. El aumento de las temperaturas no tiene porqué provocar procesos de desertización, sin embargo como hemos visto la variación de la distribución espacial y temporal de la temperatura provoca:

- *modificación del régimen pluviométrico*
- *variación en la composición específica de los ecosistemas, al adaptarse a nuevas valencias ecológicas*

Ello puede no ser malo, o incluso bueno si mejora la capacidad del biotopo en generación de biomasa y en biodiversidad (la tundra está cediendo paso al bosque caducifolio en Rusia). Pero puede tener efectos negativos si la modificación del régimen termométrico, provoca un cambio local del régimen pluviométrico en un ecosistema frágil, ya sea por:

- *reducción de la pluviometría*
- *aumento de la torrencialidad*
- *extremización de la sequía estival*

**En general, un clima será tanto más frágil cuanto más irregular.**

Si el ecosistema es frágil y se dan estas circunstancias, la vegetación que protege al suelo perderá vigorosidad y capacidad de regeneración (crece menos y transpira más), por lo que al disminuir aún más la fragilidad se incrementará el riesgo de pérdida de productividad y por tanto avanzaremos en un proceso de desertización. El ecosistema variará su composición adaptándose a las nuevas valencias y perdiendo probablemente capacidad de protección del suelo.

En el clima Mediterráneo Seco, como veremos más adelante, es tanto menor la fragilidad cuanto mayor sea la pluviometría (entre los 300 y 800 mm), y si se confirma la tendencia a una menor pluviometría los ecosistemas de este clima incrementarán su fragilidad: su riesgo de pérdida de productividad. Las  $\frac{3}{4}$  de la superficie de España se hallan en estas circunstancias.

A pesar de ello, hay que evitar comparar causas de diferente orden de magnitud en los procesos de desertificación. El posible *Cambio Climático*, que como vemos no podemos afirmar que existe, y si pudiéramos no podemos afirmar que no sea autorregulable, y si no lo fuera no podemos afirmar que no sea bueno, de ser, puede tener unos efectos de dimensión despreciable frente a los de la desertificación provocada por la indiscriminación de usos del suelo.

Hablaremos más adelante de la **lluvia aparente** para las plantas y para las personas, que es lo que subjetivamente creen unas y otras que llueve (traducción de la lluvia en disponibilidad de agua en el suelo, y traducción de la lluvia en la disponibilidad para el consumo y en los efectos que produce, como inundaciones, agotamiento de manantiales,...). Del mismo modo se puede acuñar el término **Tiempo Aparente**, que es aquél que subjetivamente creemos que es por la lluvia aparente (con la deforestación las plantas creen que llueve menos, y el hombre cree que llueve más). Además asociamos una regularidad en nuestra vida a una pretensión de que la climatología nos responda a las perspectivas, y si no lo hace le llamamos Tiempo Loco. En la Semana Blanca debe

nevar, en el inicio de la vacaciones debe hacer buen tiempo, y al acabar debe nublarse, cuando ha llegado el tiempo de sembrar debe llover, y cuando hay que cosechar no. Pretendemos que el tiempo atmosférico sea regular y no lo es. Se están batiendo récords continuamente, lo que es un análisis superficial, reciente, y sobretodo condicionado, por nuestra escasa duración sobre este mundo. No debe entenderse cualquier efecto de nuestra acción sobre el medio, ni cualquier irregularidad respecto a nuestra costumbre, como un Cambio Climático.

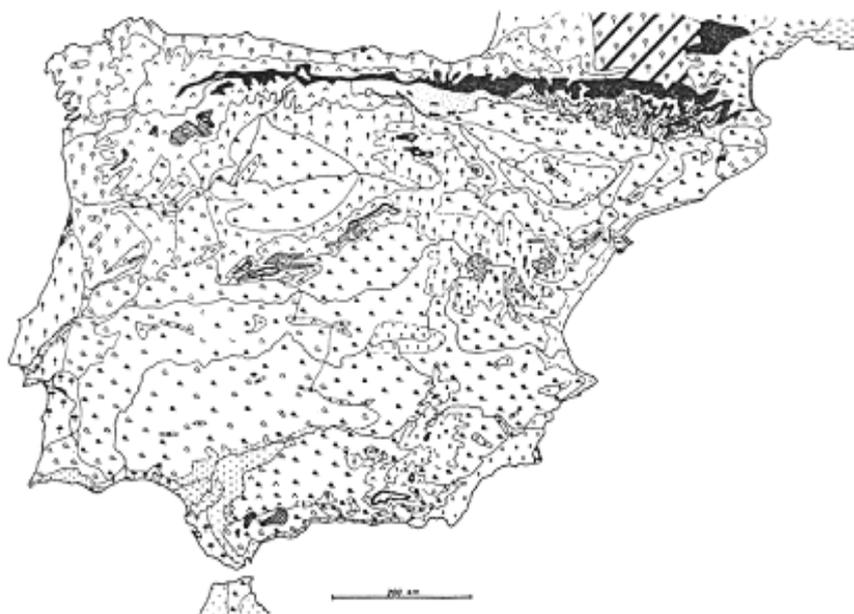
En capítulos anteriores llegábamos a la conclusión de que el estudio técnico de los procesos de desertificación puede ser poco útil en sociedades no estabilizadas, por lo que reducía la aplicabilidad del contenido de la exposición a sociedades que pudieran permitirse el lujo de consideraciones de bienestar/impacto. Ahora, tras este nuevo capítulo hay que restringir aún más la aplicabilidad de lo que seguirá. Frente a la desertización climática, las acciones técnicas a seguir son completamente diferentes a las de la desertización edáfica y desertificación, pues la problemática de control de emisiones de productos a la atmósfera es un campo de acción diferente al de ordenación de la explotación de los recursos y regeneración de ecosistemas, que son las herramientas de las que disponemos para controlar e incluso contraatacar a la desertificación. No se pretende en estas líneas abarcarlo todo, y por ello en adelante nos centraremos en la Desertificación.

*Chateaubrian*, escritor francés del siglo XVIII, ya escribía entonces: “*El bosque precede a las civilizaciones, el desierto les sigue*”. La historia le da la razón...

## HISTORIA DE LA DEGRADACIÓN

En este capítulo se describirán las principales circunstancias históricas que han afectado el medio ambiente de la Península Ibérica, como ilustración de los efectos que diferentes presiones antrópicas sobre el medio han provocado en el suelo. No se pretende con ello juzgar a la historia, pues en la escala de valores de cada época, hasta ahora el medio ambiente no tenía sino un interés económico menor y ocioso.

A través del análisis de polen, del estudio de las relaciones entre factores ecológicos y agrupaciones vegetales, y una buena dosis de geobotánica, *Lautensach* en 1964, contruyó con información de *Font Quer*, *Amorim Girao*, *Braun-Blanquet*, *Casas Torres*, *Rivas Godoy*, *Ceballos* y otros, un mapa de vegetación de España previa a la civilización. En el puede ampliarse la célebre referencia del romano *Estrabon* de la ardilla que iba de un extremo al otro de la Península sin tocar el suelo (por cierto, repasando su *Geografía*, no hemos encontrado la referencia), a saber por donde:



	Robledal ( <i>Q. robur</i> )		Quejigar
	Robledal ( <i>Q. petraea</i> )		Pinar ( <i>P. resinero</i> )
	Robledal ( <i>Q. pubescens</i> )		Pinar ( <i>P. negral</i> )
	Hayedo		Bosque mixto (pino y quejigo)
	Bosque mixto (pino y roble)		Coscojar
	Bosque mixto (pino, abeto y haya)		Pinar ( <i>P. piñonero</i> )
	Pinar ( <i>P. silvestre</i> )		Encinar
	Abetos		Mixto de alcornoque y encina
	Arbustos alpinos		Alcornocal
			Palmital
			Estepa
			Marismas

Al ser Iberia un territorio montañoso, tan solo del orden del 50% de su extensión es potencialmente utilizable para una agricultura estable, el resto una vez quemado y/o

roturado, si además se insiste, tiene tendencia a la degradación por la erosión debido principalmente a:

- *régimen torrencial y estacional de las lluvias*
- *fragilidad de los ecosistemas*
- *orografía con fuertes pendientes*

Hace 8.000 años, finalizada la última glaciación, las tribus nómadas íberas ya tenían sus ganados, y se estima que en la Península llegó a haber hasta 4 millones de ovejas. Aproximadamente hace 45 siglos, con la búsqueda de metales para la construcción de herramientas y armas, se organizaron las primeras tribus sedentarias alrededor de zonas mineras del Sur de la Península. A partir de entonces, y de forma progresiva el hombre cambió de profesión, y de cazador-ganadero se hace también agricultor y artesano. Sale de las cuevas y se comienza a acostumbrar a la comodidad de disponer de una fuente cercana. El nuevo hogar es la casa de madera, y más tarde, de piedra. Los grandes bosques en los que antes había vivido se transforman gradualmente con el desarrollo de los cultivos, pastos y aprovechamientos de leña, corcho, resina, frutos,...

Se roturan agros en los bosques, tratándose en muchos casos de una agricultura migratoria; cuando después de algunos años el suelo se había quedado exhausto, (no se conocía el abono), se roturaban nuevas zonas, dejando un cierto número de árboles que formaban dehesas, aprovechadas como pastos. Se han encontrado delgadas capas de madera carbonizada en excavaciones arqueológicas, que indican que era práctica habitual el fuego previo a la roturación.

No se aplicaban técnicas agrícolas de abono con estiércol, y comenzaron a existir extensiones de barbecho, que a medida que las poblaciones fueron estabilizándose, se reutilizaron cíclicamente. Tras 3 o 4 años de uso, había que esperar entre 20 y 25 años en cultivarlo de nuevo, pudiéndose reducir el ciclo si en el barbecho abundaban las leguminosas.

La leña se aprovechaba cuando menos por poda, lo que es una mutilación del árbol, que lo debilita y crea entrada al ataque de los hongos. Esta práctica no es en sí de una importancia regresiva comparable con las otras, pero es curioso que el vicio se conserve en nuestros días.

La fragilidad de los ecosistemas mediterráneos y continentales semiáridos del centro de la Península comenzaron a acusar una presión humana, que si bien era incomparablemente menos densa que la actual no era estable ni, lógicamente, planificada, tanto en lo que se refiere a roturación, como pastoreo y extracción de leña.

Con los años principalmente las masas de quercus xerófilos fueron adeshándose, si bien la escasa presión demográfica tenía pocos efectos sobre la fragilidad de estos ecosistemas, aunque los mantenía un cierto grado de regresión. Ya hace miles de años que los pastores aprendieron la receta, todavía en hoy en uso, de quemar para pasto.

Mientras, la fundición de los metales se basaba en el uso del carbón vegetal. La Península era un territorio rico en metales, y tanto las minas como la metalurgia incorporaron una nueva necesidad de recursos del medio ambiente: la madera, tanto para puntales de minas, como sobretodo para el carbón. El carboneo ha sido una práctica en vigor desde entonces hasta hace unas décadas, pues son necesarios Altos Hornos para la combustión del carbón mineral, y no estuvieron disponibles hasta la Revolución Industrial.

*Posidonio*, escritor griego de la época romana, en su recopilación de leyendas hablaba de Iberia como un territorio extremadamente rico en minerales, y recogía referencias de que tras un enorme incendio en los Pirineos, los ríos arrastraron los sedimentos erosionados brillantes por el oro y la plata. En cierta manera, y como recientemente sucedió con el Lejano Oeste Americano, la incorporación de Hispania al Imperio se produciría impulsada por leyendas y referencias de su riqueza, y tal vez hubiera entonces algo similar a la Fiebre del Oro.

Fue en base a la exportación de cobre, oro y principalmente plata, el desarrollo de Tartessos entre el 750 y 500 a.C., y por primera vez se construyó una flota comercial.

Con la venida de los fenicios, griegos, cartagineses y romanos, el consumo de leña y madera aumenta enormemente, no sólo por un incremento de la presión demográfica, sino además porque una mayor civilización implicaba superiores necesidades de recursos naturales, en esos tiempos: minerales, madera, cereal y ganado. La agricultura se sedentariza, pero las quemas para roturar, el pastoreo extensivo, la extracción de madera y el carboneo incrementan la actividad hasta poder mantener las necesidades de los 5 millones de habitantes con los que contaba Hispania en el periodo romano. En esos tiempos ello significaba del orden de entre el 2,5% de la población mundial, lo que es relativamente 3,5 veces más que actualmente. En época romana los bosques ocupaban un 50% de la Península. Actualmente ocupan aproximadamente un 25%.

Como vemos, la ya importante presión demográfica y correspondiente extracción indiscriminada de recursos naturales, la riqueza minera, las Guerras Púnicas y las rebeliones íberas, ya dejaban notar sus efectos.

La sedentarización de la agricultura tuvo como consecuencias adicional el inicio de la estabularización del ganado, principalmente vacuno y la utilización de abonos orgánicos, que redujeron los periodos de barbecho a 5 u 8 años.

Con el *Derecho Romano* se comenzaron a organizar las propiedades y por tanto los derechos de aprovechamiento. Ya entonces existían los “*compascua*”, es decir bosques y baldíos de propiedad y explotación comunal para pastoreo.

Con 1/8 de la población actual, y sin la necesidad de recursos de una sociedad moderna, la mitad del suelo estaba aprovechado. De esta superficie la mayor parte era la actualmente agrícola pues es lógico pensar que si bien la quema, roturación y pastoreo eran indiscriminados, la estabilización de los aprovechamientos se realizó en los terrenos menos frágiles y más ricos, (en llano, con suelo permeable, con suficiente profundidad de suelo,...). Así pues al haber llegado a una superficie de explotación estable a través de reiteradas pruebas y no evidentemente de un modo planificado, aquellos terrenos que no fueron productivos se abandonaron y volvieron al bosque o bien se degradaron en baldíos. Probablemente sucedió más esto último por causa del pastoreo de cabras. Con ello hay que suponer que la menor parte de ese 50% de la Península había entrado ya en degradación.

*Estrabón*, griego de nacimiento y contemporáneo del emperador *Augusto*, sin conocer personalmente Iberia, recopiló información de viajeros y en su “*Geografía*”, texto clásico donde los haya, describía un lugar que:

*“Es en su mayor extensión poco habitable, pues casi toda se halla cubierta de montes, bosques y llanuras de suelo pobre y desigualmente regado. La región septentrional es muy fría, por ser accidentada en extremo, y por estar al lado del mar se halla privada de relaciones y comunicaciones con las demás tierras, de manera que es muy poco*

*hospitalaria.(...). Las orillas del Baitis (Guadalquivir), son las más pobladas, el río puede remontarse navegando hasta una distancia aproximada de mil doscientos estadios (casi 100 kilómetros) desde el Kordyba (Córdoba), e incluso hasta más arriba. Las tierras están cultivadas con gran esmero. (...). Además, para recreo de la vista, la región presenta arboledas y plantaciones de todas clases admirablemente cuidadas. (...). Las comarcas donde hay metales son por naturaleza ásperas y estériles. (...). Así son también las contiguas a la Karpetania y, aún más, las que confinen con los celtíberos. Tal es igualmente el aspecto de Baitouria, cuyas secas llanuras bordean el curso del Anas.”*

Es de suponer que los terrenos con yacimientos de metales generalmente no son estériles por naturaleza, sino a causa de las constantes talas de arbolado para el surtido de leña, carbón vegetal, postes de minas,... y en general por una mayor presión humana local. Del mismo modo se da a entender que en las zonas fronterizas de conflicto ya estaban deforestadas.

Sigue Estrabón describiendo lo que ahora es Jaén como: *“Una grande y elevada llanura, fértil, cubierta de grandes arboledas y buena para pastos.”*, o sea, los que son ahora olivares y la Sierra de Cazorla. También habla de los productos que se producían: *“De Tourdetania (Baja Andalucía), se exporta trigo, mucho vino y aceite; este además no sólo en cantidad, sino en calidad insuperable. Se exporta también cera, miel, pez (resina), mucha cochinilla y minio. (...). Sus navíos los construyen allí mismo, con madera del lugar. (...). Las lanas son más solicitadas que las del Caúcaso, y nada hay que las supere en belleza. (...). La abundancia de ganados es allí enorme, así como la caza. Los animales dañinos son raros; excepción hecha de los conejos”*.

Respecto al Norte, lo describe como: *“En las tres cuartas partes del año, los montañeses no se nutren sino de bellotas, que, secas y trituradas, se muelen para hacer pan, el cual puede guardarse durante mucho tiempo.”* Habla también de la importancia de la cría de cabras como carne principal, y de caballos, ovejas y vacas. *“Iberia produce gran número de rebecos y de caballos salvajes; en las lagunas abundan también las aves, como cisnes y avutardas. En los ríos se crían castores”*. De los Pirineos cuenta que: *“Hay hermosos árboles de todas las especies. La vertiente céltica está desnuda, pero las zonas centrales contienen valles perfectamente habitables”*.

Así pues, si bien la presión demográfica era escasa, era también migratoria, y si Hispania era una provincia rica en recursos minerales y naturales, era un sistema frágil, que comenzaba a expresar síntomas ya no de regresión, sino hasta de degradación.

Roma trajo no sólo la civilización, sino todo lo que ello implica, y además de la referida estructuración de la producción, dejó tras ella la concepción actual del mundo moderno respecto al Derecho, o sea entre otros, el sistema de propiedad de la tierra y por tanto de los recursos naturales.

La invasión visigoda, no fue tan drástica como tal vez pensemos en la cultura popular, ya que se hizo con el “consentimiento” romano, fueron aliados y enemigos alternativamente durante 4 siglos, hasta el pacto, (*foedus*), del año 418, por el que se establecían definitivamente, y se quedaban con los 2/3 de las propiedades. Pero sí fue el inicio de una época de continuas guerras que genéricamente las solemos llamar godas y vándalas, hasta la dominación árabe.

Los godos legislaron para proteger los bosques, y así en el siglo VII el *Fuero Juzgo* regula el deslinde de bosques, se crean las cañadas para ovejas y cabras, se establecen severas penas para el robo de maderas e incendios, se dan reglas de aprovechamiento de

la apicultura, montanera (bellotas para fomento de la caza), cría de caballos y cerdos, y extracción de leña.

En esta época se siguieron practicando las mismas actividades que durante la hegemonía romana, pero las costumbres guerreras de los nuevos pueblos generalizaron una nueva forma de presión sobre el medio, que perduraría hasta el final de la Edad Media: las tácticas de emboscada. Como el propio nombre indica, se aprovechaban de la cobertura de los bosques como elemento de ventaja y de sorpresa frente al enemigo, y se generalizaron si ya no lo estaban las tribus dedicadas al pillaje. Ante estas circunstancias, los nobles de la época reaccionaron con una lógica entonces aplastante: para que no se embosque el enemigo, quememos el bosque. Esta táctica fue utilizada durante más de 10 siglos, lo que no es poco, y tuvo su máxima expresión en la Reconquista de la Meseta Central, al ser una zona en la que durante siglos hubo continuos avances y retrocesos en favor de uno y otro bando. (De hecho se sigue usando esta lógica, y el suceso más conocido entre los recientes es la utilización del Napalm en Vietnam para evitar francotiradores).

Los terrenos conquistados no cultivados pertenecían al monarca, realengo; que a su vez en parte, cedía al clero (órdenes militares), abadengo, y a la nobleza, (abolengo o señorío), como recompensa por los méritos de guerra. Estos a su vez repoblaron las zonas reconquistadas con siervos, que al no ser propietarios, y como fomento de la colonización, explotaban comunalmente los recursos agrícolas, ganaderos y forestales en favor de su Señor.

El paso de la Alta a la Baja Edad Media, en parte fue consecuencia del incremento demográfico directamente provocado por las mejoras tecnológicas en la eficiencia agrícola introducidas en los siglos X y XI, como el arado de vertedera o las rotaciones por ciclos de leguminosa-cereal-pasto.

Desde el tiempo de los celtíberos, la caballería era la base de los ejércitos regulares, y en la Edad Media y Reconquista obvia hablar de la importancia militar del Caballero, de ahí su honor y prestigio. La caballería necesita operar en terreno abierto, lo que añadía al anterior argumento estratégico contra la emboscada, la operatividad de este cuerpo.

Como ejemplo, en la *Crónica de Albelda*, se citaba que después de una campaña contra los musulmanes, las tropas del Rey Alfonso I “*convirtieron la tierra en un yermo hasta el Duero*”. En esta época se devastó la práctica totalidad de Castilla y Murcia.

Sin embargo los Reyes tenían una afición que permitió reservar parte de la riqueza natural: la caza. Ya entonces sabían que la caza se daba mejor en lugares con resguardo y buena producción de fruto, lo que implicaba un especial y noble cariño por los bosques de frondosas. Hasta las épocas imperiales consta la caza de venados, gamos, corzos, lobos, zorros, osos, gatos monteses, garduñas, jabalíes, liebres, conejos y perdices en los encinares de la Meseta Central. Alfonso XI nos legó una importante descripción histórica no sólo de la caza, sino además de los incipientes estados regresivos y procesos de desertificación en Castilla.

Alfonso X el Sabio ordena en las Siete Partidas: “*los árboles, parras y viñas deben ser bien guardados, por los que los cortan o destruyen facen maldad conocida*”.

El pastoreo de cabras en los bosques se prohibió por lo que los dañaba, y por tanto por el perjuicio económico y lúdico de la nobleza, ya en el Edad Media. Sin embargo hoy se sigue practicando, y como tradicional, consintiendo.

El clima y orografía peninsulares, y la importación de razas ovinas africanas en el siglo XIII propiciaron la ganadería trashumante, pues en escasa extensión había diferentes climas y su graduación permitía una producción ganadera continuada durante todo el año. A la lana merina, por su gran calidad y valor, se le llamó “Vellón Español”, nombre que heredaría la moneda.

En 1273 también *Alfonso X*, reunió en una única asociación diversos grupos de pastores en el “*Honrado Concejo de La Mesta*”, dándoles *Carta de Privilegio*. Se estabilizaron las Cañadas, de 90 varas, (75 metros), pero que podían extenderse hasta 300 metros. En Aragón se llamaron cañaberas, carreradas en Cataluña, azadores reales en Valencia. Se creó una red secundaria de caminos trashumantes: los cordeles (45 varas) y veredas (92 varas), y se creó un cuerpo de funcionarios judiciales para vigilancia de estos caminos, que al cobrar de *La Mesta*, ampliaron los caminos a todo lo que no estuviera vallado, y aún así a lo que aún estándolo, no tuviera testigos de que se utilizara como cultivo. La Mesta llegó a controlar 125.000 Km de red pecuaria y 400.000 hectáreas de terreno.

En estas circunstancias se llegó en el célebre 1492 a un importante cambio en la sociopolítica de la Península Ibérica. Durante el reinado de los Reyes Católicos se expulsaron a los árabes y judíos, se inició con el descubrimiento de América la hegemonía del Imperio Español, y se unificaron los reinos ibéricos, excepto Portugal.

Con la explotación comunal de los terrenos reconquistados, la importación de la raza merina, y la disponibilidad de pastos consecuencia de la degradación de amplias zonas por las prácticas descritas, se produjo un aumento aún mayor de la importancia en la economía del nuevo país de la ganadería trashumante, apoyada por el Estado por tres motivos de peso:

1. *su importancia económica, tanto por la exportación como por su aportación de impuestos a la Corona*
2. *su capacidad de colonización de los terrenos reconquistados*
3. *aprovechar su movilidad para un intercambio cultural entre los reinos unificados para crear una estructura de comunicaciones y una transferencia cultural que ayudara a consolidar la nueva Nación*

Con las necesidades políticas y económicas del reinado católico, *La Mesta* incrementó su poder, siendo sus *Privilegios* junto con la *Flota de las Américas*, las dos circunstancias más importantes que marcaron la historia de la degradación de la Península hasta el siglo XIX.

*Privilegios de La Mesta*, principalmente frente a las explotaciones comunales:

- *Vigilancia y deslinde de cañadas y vías secundarias*
- *Arrendamiento ilimitado de terrenos cualesquiera, aún sin haber sido jamás arrendados previamente*
- *Arrendamiento obligatorio, y al “precio viejo”, (Edicto de Posesión de 1501)*
- *Anulación de los acotamientos realizados en determinados años, y lugares, (segunda mitad del siglo XV y Sur de la Península)*
- *Derechos totales sobre las tierras reconquistadas, por lo que gran parte de Extremadura y Andalucía fueron directamente controladas por La Mesta. En la Conquista del Reino de Granada, todo fue arrendado.*

Las consecuencias fueron desastrosas:

- *el paso del ganado por el sotobosque empadrizó el suelo dificultando la regeneración, aún así lo que conseguía regenerarse, tanto por semilla como por cepa, era rápidamente devorado.*
- *los pastores tenían derecho a la corta de ramas para cabañas, cama de ganado y ramoneo, (pienso).*
- *en Otoño se quemaban bosques enteros*

Por todo ello en ecosistemas frágiles se consiguió desde la regresión a la desertificación de amplias zonas, principalmente del Sur.

A pesar de ello, la Monarquía veía en los bosques una fuente de riqueza que aún dictando normas que indirectamente los perjudicaban, intentaban al tiempo dictar otras que los mantuvieran. Citemos unos ejemplos.

Los Reyes Católicos en 1496 obligaban a sus siervos respecto a los árboles que *“los conserven para bien y procomunal de ellos, y no los talen, ni descepen, ni desmenguen sin especial licencia, salvo los que fueran tan grandes y tales que los vecinos se puedan aprovechar de ellos para leña, no los cortando por pie, salvo por rama, y dejando en ellos horca y pendón por donde puedan tornar a criar”*.

Doña Juana y Don Carlos en 1518 mandaron a los procuradores del reino que como: *“los bosques se talan y destruyen con desorden notable, y no se plantan otros, y de aquí la falta de leña y abrigo para los ganados”*, legislasen para *“que se reconociesen los sitios en que, sin perjuicio de las labranzas, o con el menor daño posible ellas, se pudieran poner encinas, robles, pinares, según la calidad de la tierra, para que haya abrigo para los ganados, pastos y leñas, y en las riberas de los ríos, sauces y álamos; y que apremiasen a los vecinos para que los árboles nuevos, como los viejos que tengan, se guarden y conserven y no se arranquen y talen ni saquen de cuajo”*.

Los mismos soberanos ordenaban en 1557 que *“quien corte un árbol, que plante o ponga dos previamente”*.

En 1558, Felipe II, mandaba que para remediar los males que los incendios ocasionaban, en los montes quemados no se pastase sin orden del Consejo.

Sin embargo los aprovechamientos indiscriminados iban reduciendo la masa forestal tal como atestiguan en 1576 Las Cortes: *“La conservación de los bosques, en todos tiempos, fue muy necesaria; pero mucho más en este en el qual, por lo mal que se han guardado, van en notable disminución y, aunque el Consejo ha preveído de los remedios que han parecido posibles, la malicia de los dañadores ha hallado medios con que defraudar lo que se pretende”*. No hemos avanzado mucho desde entonces.

En una carta del Rey Carlos II a su hermanastro y valido, el Infante Juan José, le decía: *“Fue decidida voluntad de nuestro augustísimo Padre y Rey, al sancionar la instrucción del mes de Abril del año 1656, confirmando y precisando la dictada en 1650, para la conservación de los montes, no dejar jamás en manos de la avaricia y maldad de algunas gentes los bosques de éstos reinos, sin que nada valioso se realizase hasta el presente para hacer cumplir tan discreta previsión y, así deseo, que a partir de éste año del Señor 1667, no se cese de vigilar por todas las autoridades de la monarquía que corresponda, la riqueza de aquellos bosques, así como la que forman los animales salvajes que en ellos están.*

Desde el inicio de las primeras exportaciones con los Cartagineses, y por la riqueza de recursos de Iberia, se precisaron de enormes cantidades de madera de buena calidad,

principalmente roble y pino, para la construcción de barcos. Primero fueron pequeños barcos comerciantes y pesqueros, para después iniciarse la construcción de flotas de guerra. Julio César, en la conquista de las Galias, envió a comprar “*materiales para labrar naves a Hispania*”, por su abundancia y calidad, y el poeta *Sidonio* denominaba a los navíos como “*la cosecha de Hispania*”.

En el Cantábrico, primero como protección contra los corsarios moros y después para la exportación de hierro, lana, cuero, cera y miel con Francia, Inglaterra y Flandes, se construyó en los siglos XII y XIII una importante flota con una extensa infraestructura de explotaciones de bosques, astilleros y puertos.

El Rey Alfonso X fue el primero que mandó construir una flota de guerra, para no gravar excesivamente las exportaciones con servicios militares. En esa época en el Cantábrico se construían naos de vela y en Sevilla, galeras. Sin embargo la colonización de América se realizó con barcos del Norte, ya que los del Sur y Levante eran de madera de inferior calidad. En 1593 se prohibió a los buques andaluces formar parte de la flota de Indias, por dicho motivo.

En la Baja Edad Media, el Reino de Aragón, y más tarde el de Mallorca poseían una importante flota comercial y de guerra. Extendieron sus dominios por todo el Mediterráneo Oriental hasta Grecia. Se crearon los arsenales y atarazanas en todo el Reino.

Cuando se inició el proceso de creación del Imperio a través de la colonización de América, las necesidades de construcción se dispararon. Se crearon astilleros en todo el Cantábrico, Cádiz, Cartagena y Cataluña. Ya en tiempos de los Reyes Católicos se construían barcos de 500 a 1.000 toneladas, lo que implica 10 veces más de necesidades de madera en tablón o 20 veces más de madera en rollo, o sea, un aprovechamiento del 5 al 10%.

El conjunto de la flota imperial un siglo después del descubrimiento de América, en plena hegemonía imperial de Felipe II, tenía aproximadamente 300.000 toneladas, y la duración media en servicio de un barco era de unos 20 años, eso si no se perdían en batalla o tempestad. Lo cual supone la necesidad mínima de unos 300.000 metros cúbicos de madera al año, que al no existir métodos racionales de explotación forestal podían significar del orden de más de 5.000 hectáreas de bosque de alta calidad deforestadas al año, pues podrían aprovecharse unos 50 pies/ha, dedicando el resto a leña o peor aún, pastos. *Lope de Vega* escribía que la hegemonía del Imperio está escrita en madera, en la “*Selva del Mar*”.

Las superficies de aprovechamiento indiscriminado de madera no eran espectacularmente grandes, pero afectaban a los bosques de máxima calidad y situados en las cabeceras de las cuencas hidrográficas, tanto por su hábitat natural, como por la facilidad de transporte fluvial, que son precisamente zonas especialmente importantes en la protección contra la erosión y regulación de caudales.

La costa española estaba plagada de astilleros de todos los tamaños que se nutrían de los bosques próximos a ríos para facilitar el transporte. Un buque precisaba del orden del 50 al 70% de roble y el resto de pino.

Otros países por causas similares, y aún con ecosistemas menos frágiles consiguieron a base de mayor presión demográfica, más roturaciones, pastoreo, carboneo, guerras y flotas, crear y mantener un Imperio a costa de sus reservas naturales: las Islas Británicas tienen aún menor porcentaje de bosques que los países mediterráneos. En un principio

sus bosques cubrían el 80% de su superficie, antes de los normandos el 40%, y actualmente el 1,5%. Al final de la Edad Media habían desaparecido 4/5 partes de los bosques europeos.

Más adelante, principalmente en Cuba, se crearon más astilleros para la flota de las Américas, que se nutría de maderas tropicales y que por ser de mejor calidad, rebajó la necesidad de maderas en el Reino.

Desde Alfonso X, se subvencionó institucionalmente la construcción de buques, y desde 1.501 se tuvo que prohibir su exportación dado la calidad obtenida produjo una demanda en el extranjero que hicieron temer a los Reyes Católicos por las reservas forestales, por tanto eran las reservas de la Marina. Posteriores monarcas fueron también conscientes de la importancia de la conservación de los bosques, y así como ejemplo citaremos una instrucción de 1656, confirmada por Felipe IV en la que se diferencian *“tres suertes de bosques: primera, de vecinos particulares; segunda, de los Concejos; tercera, de Su Majestad. En los primeros, los dueños cuidarán de su aumento y conservación como mejor les pareciere. En los segundos, Su Majestad como Señor y Rey, tiene la obligación natural de conservación, ya porque no hay lugar bueno sin ellos y también porque debemos conservarlos a los venideros, como los pasados los conservaron a los presentes; que planten lo que deban, según ordenanza del pueblo, porque el plantío de un árbol cuesta medio real y a los veinte años vale 15, 20 ó 30 reales; que siembre bellotas, piñones,...juntándose el concejo un día para sólo este fin; que para remediar los daños que ha habido en la corta, tala y poda de árboles en lo sucesivo se hagan éstas con licencia de los concejos y a presencia de los oficiales de los mismos o vecinos prácticos diputados por ellos, desde mediados de Diciembre a mediados de Febrero, dejando horca y pendón con la pica y guía mejor que tenga el árbol, dando dos, tres o más árboles apresos por cada uno que cortaren. En los terceros, se continuarán los plantíos por obligación de cada año, y nadie cortará sin licencia del superintendente; que tengan viveros, los cierren levantando las paredes al Norte, y los saquen cuando estén como hasta el venablo, teniendo cuidado en que prendan, porqué tan malo es dejar de plantar como plantar mal, y hágase esto desde Diciembre a Febrero y en Luna Creciente”*.

Después de la derrota de Lepanto, con el desarrollo de las industrias astilleras en las colonias, y la llegada de los Borbones, la gestión de los bosques paso a depender de la Marina, y por primera vez se comenzaron a racionalizar los aprovechamientos con criterios de regeneración de un modo generalizado, imponiendo restricciones a roturaciones, pastos, quemas y carboneo: se exigía licencia para talar árboles, se obligaba a la plantación de tres árboles por cada uno que se cortase, cada vecino tenía que plantar 5 árboles al año o sembrar bellotas, castañas o piñones. Se crearon los guardas forestales, *“personas de buena opinión, forma y costumbre”*, que como recompensa tenían *“exención de cargas, alojamientos, quintas y levadas, así como la tercera parte de las penas que incurrieren”*, y que tenían poder de sanción hasta de 4 años de destierro en Africa. A los dueños particulares la obligación de *“replantar en la parte y porción que los expertos declaren conveniente, con apercibimiento de que, no lo haciendo, se ejecutará por el pueblo donde estuvieren y quedará el aprovechamiento de ellos a beneficio de su uso común”*.

En el s. XVIII, en tiempos de Fernando VI se promulgó una Real Ordenanza de 39 capítulos para la *“Conservación de montes, aumento de plantíos y medidas de castigo a los transgresores”*. Bajo los auspicios de su sucesor, Fernando VII, el Marqués de Ensenada promovió la creación de cuerpos profesionales específicos para el estudio,

conservación y policía de los bosques: *“Nombrar personas con un superior saber ganado con el estudio que les permita hacer, o mandar hacer, lo más conveniente para lo que tienen encomendado, sin que se distraigan con la práctica de ningún otro oficio o industria y, en lo que atañe a los guardas de campo y monte, si por el momento pudiera estimarse discreto, se elijan y nombren cada año, no debe verse así para el futuro, ya que, si bien parecen personas de buena opinión, fama y constumbres, es preciso además, como aquellos de más sabiduría que citamos, actúen conjuntamente como vigilantes únicos de todos los bosques y plantíos del Reino, poniendo en su cometido la reciedumbre de sus cuerpos, la aversión al soborno o a la malicia, y el largo conocimiento de los montes que tutelan, así como las costumbres de los más rebeldes delincuentes”*.

Entre los siglos XVI y XVIII se produjeron numerosas epidemias, que sumadas a la emigración a las Américas, provocaron una disminución de la demografía española, que alivió así en algo las necesidades de recursos.

La cría de ganado comenzó a llevarse al establo, principalmente la del vacuno, lo que incrementó la disponibilidad de abono (estiércol), y por tanto la productividad agrícola, sin embargo la de ovino es relativamente reciente, y su estiércol no es excesivamente ácido. Fue en los siglos XVIII y XIX cuando se generalizaron los establos y prados permanentes.

Con un equilibrio de intereses de *la Monarquía, la Marina, la Mesta*, fueron evolucionando los bosques hasta el siglo XIX, perdiendo siempre extensión al aumentar la demografía y por tanto las necesidades agrícolas, ganaderas y de madera. El siguiente paso drástico se dió con las tendencias liberales que llevaron a la Desamortización.

Las propiedades de la Iglesia y la Nobleza, (manos muertas), estaban infraexplotadas, tanto en su parte agrícola como forestal, por tanto la renta que daban era inferior a la potencial. La solución para aumentar los ingresos del Estado era lo que ahora llamaríamos privatización, por la que incrementando la productividad y renunciando a la renta directa, se podrían imponer impuestos a los particulares. La ampliación de la desamortización a los bosques fue un auténtico desastre, pues 7 millones de hectáreas de monte fueron talados sin ningún criterio de regeneración posterior para extraer rápidamente ganancias, (5,5 Mha del Estado y 1,5 Mha de la Iglesia).

*Jovellanos* llegó a decir al respecto que *“No hay cosa más constante que el que los bosques se reproducen naturalmente por si mismos”*.

El siglo XIX se caracterizó por la lucha entre liberalistas y monárquicos, entre demócratas y absolutistas. La desamortización fue un proceso que se inició a principios de ese siglo, y que tuvo avances y retrocesos, y su máxima expresión con las Leyes de Mendizábal, que en 1834, autorizaban a todos los pastores a entrar en cualquier bosque; que en 1835, autorizaban a los Ayuntamientos a subastar libremente los terrenos comunales; y que en 1837, autorizaban la venta de todas las propiedades de la Iglesia. Pero los agricultores en España eran pobres, y no aprovecharon las prácticas liberales, pasando a constituirse una nueva oligarquía sustitutiva de la Nobleza e Iglesia, que fue la burguesía, que a bajo precio consiguió incluso en ocasiones ampliar fincas.

A mediados de siglo el Gobierno se convenció de que los bosques tenían un beneficio económico si y sólo si se mantenían, y se incorporaron técnicas y normativas centroeuropeas de planificación y explotación racional de los recursos agrícolas y forestales. Al tiempo el desarrollo de la ciencia hizo que se escuchase a los estudiosos de la Naturaleza que abogaban por *“la influencia positiva en clima, suelo, higiene,*

*agricultura y economía nacional*” de los bosques. A partir de 1855 se detuvo la enajenación de aquellos bosques que por su interés permanecerían en propiedad del Estado, y se limitó las posibilidades que al respecto se habían otorgado a los Ayuntamientos. Se definieron para ello los siguientes tipos:

1. *Los que no pueden pasar al dominio de los particulares sin comprometer la salubridad del país, la fertilidad del suelo y la defensa del territorio: bosques de abetos, pinos, enebros, sabinas, tejos, hayas, castaños, alisos, abedules, robles, rebollos, quejigos, acebos y piornos.*
2. *Los que no pueden enajenarse sin previo reconocimiento: alcornocales, encinares, mestizales y coscojales.*
3. *Aquellos cuya venta puede declararse oportuna sin necesidad de reconocimiento previo: olmedas, fresnedas, almezales, alamedas, saucedas, acebuches, lentiscales (garriga), y en general cualquier tipo de matorral en regresión o ya degradados.*

Pero estas intenciones variaron del mismo modo que la turbulenta política del siglo, y en la segunda mitad se enajenó más superficie boscosa que en la primera: 3 millones de hectáreas entre 1855 y 1869, (de los 7 antes mencionados), que en su mayoría pasaron a ser cortados a raso, sin criterios de regeneración.

En otros países europeos también hubo tendencias desamortizadoras, pero rápidamente fueron excluidos los bosques de las mismas, así en Alemania en todo el siglo se enajenaron 100.000 hectáreas, principalmente bosques pequeños de zonas bajas; en Francia la cifra fue superior, 350.000 hectáreas, 20 veces menos superficie, pero por ellas el Estado ingresó unas 12 veces más.

A mediados del siglo XIX, y como consecuencia por una parte de una sensibilización poética de la sociedad hacia la belleza de la Naturaleza, y por otra al desarrollo de métodos de planificación de la explotación de los bosques con criterios económicos de regeneración y renta constante, se estabilizó de nuevo un equilibrio que ha ido evolucionando de nuevo hacia una menor extensión de bosques, pues si bien *La Mesta* pierde sus *Privilegios*, la *Marina* deja de usar madera y el carbón mineral sustituye al carbón vegetal: el incremento demográfico exige la roturación de mayores superficies con mayor productividad, y el mantenimiento del pastoreo, que a falta de pastos disponibles, se estabulariza aún más para una mayor rentabilidad.

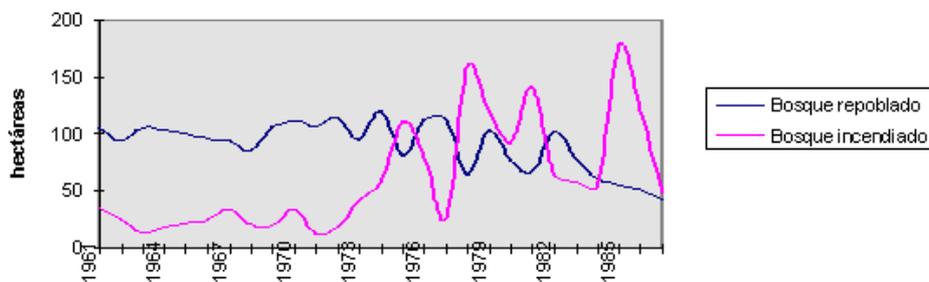
Como ejemplo de las consecuencias de los avatares políticos de la Edad Moderna, citemos que en el siglo XVI existe constancia de 4 inundaciones catastróficas, en el XVII: 3, en el XVIII: 9, en el XIX: 17, en el XX hasta 1940: 11, y después de 1940, con los cada vez más destructivos incendios forestales, hemos superado esta cifra, y ya hemos perdido la cuenta pues casi cada año en varios lugares diferentes suceden. (Como se describirá más adelante las inundaciones se producen porque escurre demasiado, y no porque llueve demasiado, o sea, que están directamente relacionadas con el grado de degradación).

Las técnicas agronómicas y forestales se comienzan a desarrollar en el siglo pasado. Se plantan barbechos de alfalfa y trébol sin recogida para reducir los periodos de rotación hasta 2 años o bien se introducen masivamente los abonos inorgánicos, que favorecen el lavado de nutrientes del suelo y constituyen el *vicio* de muchos terrenos agrícolas actuales, (están enganchados porque les provoca dependencia). Los bosques más productivos comienzan a ser tratados con criterios de permanencia y renta constante.

A finales del s.XIX surgen en Europa diferentes legislaciones tendentes a defender la vegetación de las zonas montañosas como un recurso para paliar los efectos devastadores de la torrencialidad y la erosión: Suiza (1848), Francia (1882), Austria (1884), Grecia (1917). Concretamente en España, la Ley de 11/7/1877 establece la repoblación y mejora de los bosques públicos como herramienta de protección del suelo. Por Real Decreto de Febrero de 1988, se regula la repoblación de las cabeceras de las cuencas hidrográficas para la retención y conservación del suelo. En la misma línea el RD 7/6/1901, crea los Servicios Hidrológico Forestales, que actuaron principalmente en Pirineos, Sistemas Central e Ibérico y Sierra Nevada.

En nuestro siglo, la sociedad comienza a ver en los bosques su valor como protector contra la erosión, regulación del agua, efectos sobre los vientos y humedades, e incluso su valor recreativo y social.

Sin embargo al mismo tiempo la sociedad crece demográficamente, mejora en calidad de vida y necesita de nuevo más recursos, y si bien la agricultura incrementa su productividad a través de técnicas como el abono, planificación o selección de variedades; la ganadería a través de la estabulación, alimentación con piensos, planificación y mejoras genéticas; y los aprovechamientos forestales a través de la Ordenación Sostenible; las prácticas tradicionales de roturación indiscriminada, quemas y pastoreo extensivo siguen produciéndose e incrementándose al tiempo que se realizan repoblaciones, principalmente de coníferas, dado que el deteriorado estado del suelo apenas da otra opción viable (hay que tener en cuenta que recuperar una progresión es exponencialmente tanto más complejo y caro, cuanto más cercano al clímax sea el objetivo de la acción, y por ello se tiende a restablecer artificialmente un estado regresivo progresivo como es el pinar).



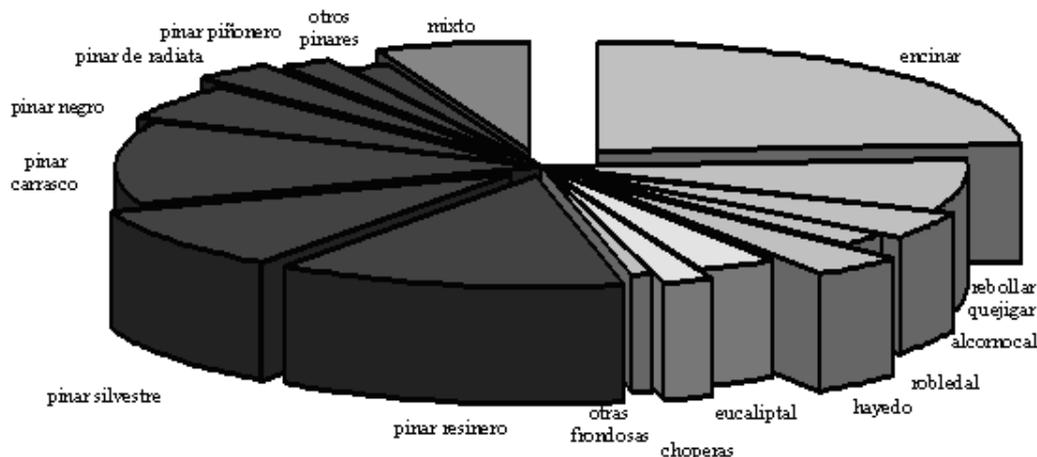
(Bauer, 1989)

Hace 5.000 años la relación conífera/frondosa era como media del orden de 1 a 3, si bien en el Norte pudiera llegar a ser de 1 a 10 y en el Levante incluso inversa, predominando en solanas, pendientes fuertes y terrenos en general más frugales, el pino carrasco sobre la encina. Como consecuencia de:

- *crecimiento más rápido*
- *menor coste de repoblación*
- *frugalidad respecto al suelo y clima, especialmente importante ante la necesidad de regenerar terrenos ya degradados*

se ha provocado un vuelco en la proporción, siendo actualmente del 3 a 1. O sea, siendo el pinar un estadio en muchas ocasiones subclimácico regresivo, nuestros bosques están mayoritariamente en condiciones de productividad y sobretodo fragilidad deficientes.

La distribución actual de estos bosques, que ocupan en su conjunto 10,4 millones de hectáreas, por su especie principal y sin entrar en consideraciones de estado natural, es:



Por lo que actualmente en superficie, coníferas y frondosas están casi a la par, si bien por las razones antes mencionadas la proporción es cada año por necesidad más favorable a asociaciones coníferas.

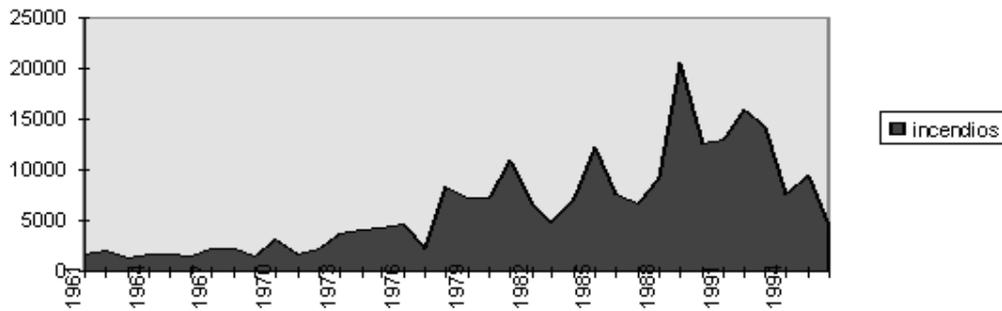
En EE.UU., como consecuencia de la tormenta de polvo que cubrió Nueva York el 12 de Mayo de 1934 (*dust bowl*), nace la *Ley de Conservación de Suelos* (1935) y se crea el primer organismo científico y gestor de los procesos de degradación del suelo y lucha contra la desertificación, el *Soil Conservation Service*, al que se debe gran parte de las metodologías de cuantificación de estos procesos e inicia esta línea de investigación, en España, el 1947/1955 se promulga la *Ley de Conservación de Suelos*, de carácter prioritariamente agrícola.

La *División de Agricultura, Pesca y Montes* de la CEE, contabiliza en España 1/3 de la superficie de vocación boscosa total de la Europa comunitaria (antes de la incorporación de Suecia, Finlandia y Austria), de la cual la mitad está en avanzado proceso de desertificación, lo que representa entre un 20 y 25% de la superficie nacional.

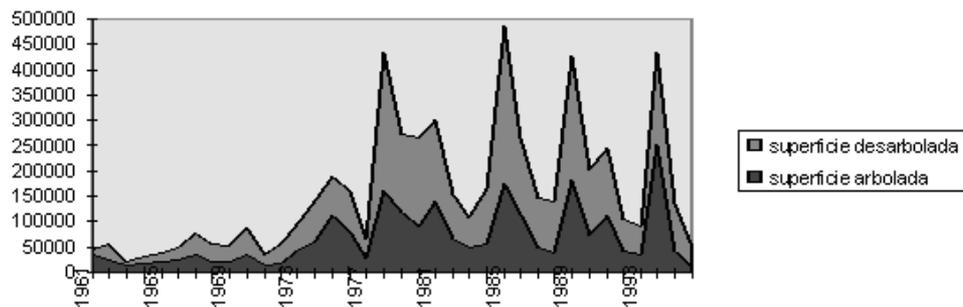
El bosque siempre ha sido para el particular una fuente de ingresos, y para la sociedad una riqueza colectiva. El 68% de los bosques españoles son de propiedad privada, el 2% del Estado y el 30% comunales. Evidentemente ello provoca una tensión de intereses entre propietarios, gente del campo y resto de la sociedad. Las consecuencias de la *Desamortización* llegan así a nuestros días, motivando efectos negativos aún después de haber pasado a los libros de historia.

De esta tensión creada entre los contradictorios requisitos sociales sobre el medio: mayores necesidades de recursos, mayor concienciación del valor de los bosques, prácticas tradicionales de quema y pastoreo, y mayor presión demográfica en el bosque, se renueva a mediados del siglo XX con una virulencia sin precedentes, un viejo azote para la degradación de los ecosistemas que aunque empobrecidos y alterados, siguen resistiendo sin dar el temible paso de la regresión a la degradación: los **incendios forestales**.

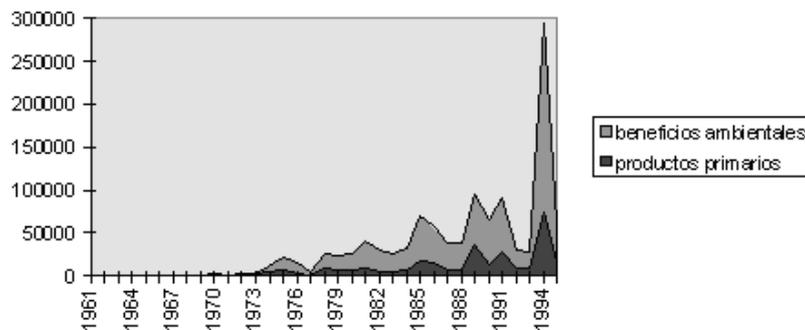
### Número de incendios



### Hectáreas quemadas



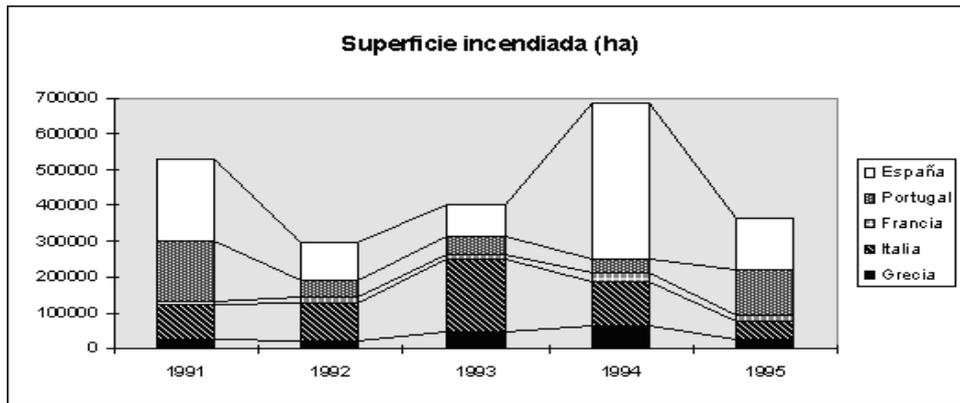
### Pérdidas en millones de pesetas



Por beneficios ambientales se entiende: desarrollo local, paisaje, capacidad de regeneración, biodiversidad y erosión. No se incluyen los costes de prevención y extinción, ni los daños en personas, urbanizaciones y seguros. El presupuesto de extinción de 1995 fue de 8.767 mil millones de pesetas.

Pese a estar prohibido en otros países de la CEE: Alemania, Holanda y Países Nórdicos, o estrictamente restringidos en otros como Francia y Gran Bretaña, entre Septiembre y Noviembre en España se sigue practicando la quema de rastrojos en 9 millones de hectáreas de cereal, lo que representa del orden de las 3/7 partes de las tierras cultivadas.

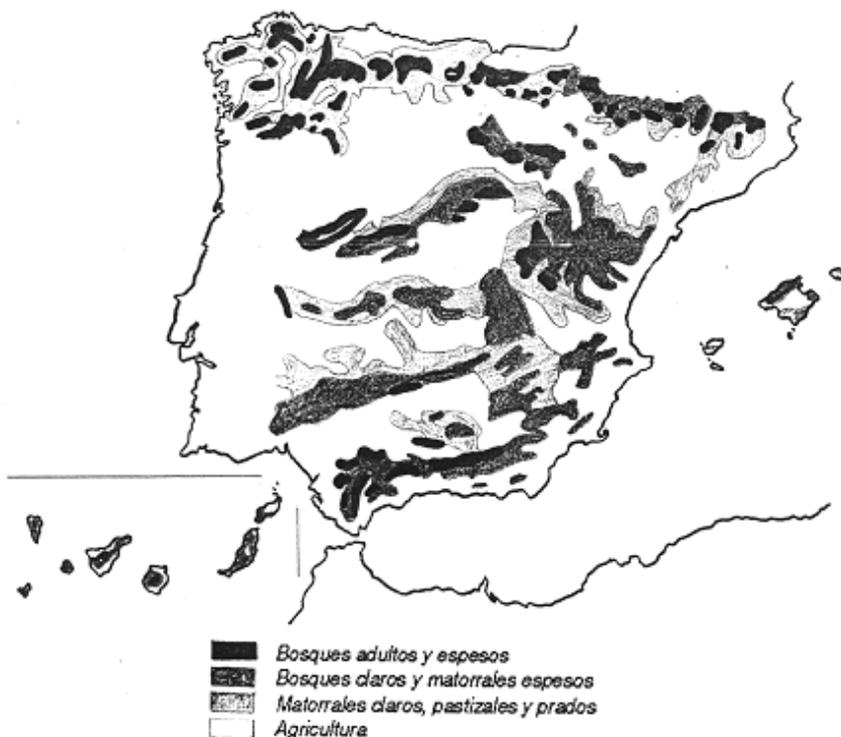
Los incendios son pues consecuencia de intereses y costumbres en un medio frágil, y también son problema para otros países:



La alta demografía y competitividad de la sociedad moderna exige rendimientos agrícolas sólo mantenibles con abonos inorgánicos, que como se verá más adelante crean adicción en los suelos, que no renuevan su complejo coloidal y necesitan cada vez mayor cantidad y frecuencia de abono para mantener la producción, facilitando el lavado del propio abono mineral y la eutrofización de aguas estancadas y subterráneas. Desde la II Guerra Mundial hasta 1980, el consumo mundial de fertilizantes minerales se ha multiplicado por 20, y del total, las  $\frac{3}{4}$  partes no son aprovechadas por los cultivos.

O sea, después de una animada historia, el mapa inicial se nos ha convertido en:

**VEGETACIÓN ACTUAL**



En 1.977, el informe de la *PNUMA* para España en la *Conferencia de Nairobi*, y como consecuencia de todo lo anterior, cifraba en el 26% el territorio afectado por procesos de desertificación, y en el 28% los que estaban en riesgo de iniciarlo. *¡Hablamos de medio País!*

*Liebig*, alemán y precursor de la Química Orgánica, escribía en 1840: “*El ocaso de las civilizaciones es consecuencia de la erosión que la presión humana provoca*”.



## **PARTE II**

### CUANTIFICACIÓN

### **FRAGILIDAD CLIMÁTICA**

Tal y como se viene insistiendo, la desertificación es un proceso de la reducción de la protección de la vegetación al suelo frente a la precipitación (puede darse porque haya poca precipitación y poca vegetación, pero también puede darse lloviendo mucho si la

vegetación es escasa). Es pues una **consecuencia tanto de lo que llueve, como de lo que no llueve**. El clima influye pues tanto en su capacidad de agredir al suelo, como en promocionar la vegetación que lo proteja.

La Agresividad del clima estará en equilibrio con su propia fragilidad y con el suelo cuando los ecosistemas que éste soporta sean maduros, y por tanto la Resistibilidad será equivalente a la Agresividad en una situación de estabilidad. Cuanto mayor sea la Agresividad, mayor deberá ser en el equilibrio la Resistibilidad, y por ello, más frágil será el medio natural frente a una modificación de la protección que da la vegetación frente a la lluvia, que llevaría a un reequilibrio, normalmente de menor productividad.

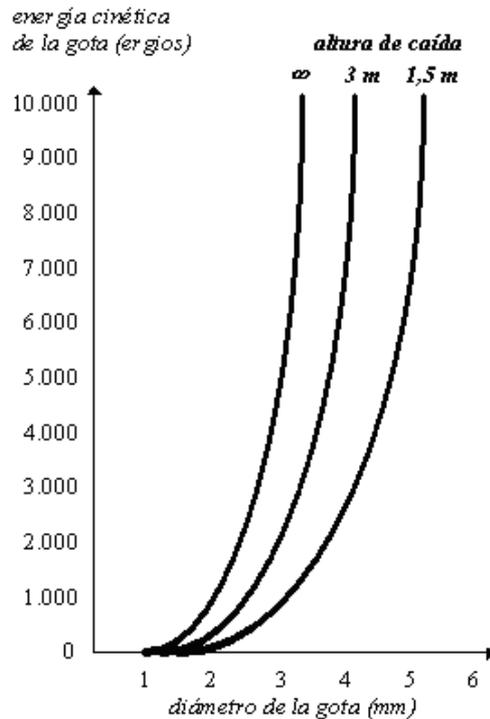
De modo análogo a los demás aspectos del mismo concepto, la fragilidad climática consta de:

- erosionabilidad climática o agresividad del clima (complementa la **resistibilidad** del medio), que dependerá de cuánto y cómo llueve (pluviosidad y torrencialidad)
- capacidad del clima en regenerar la cobertura vegetal (**reversibilidad**), que dependerá de cuando y cuanto llueve, y del régimen termométrico (pluviosidad y termometría)

Así, replicando los mismos conceptos manejados para definir esta fragilidad, interesa conocer los factores críticos, o **limitantes**, que caracterizan pluviosidad, torrencialidad y termometría:

- *distribución de la lluvia durante el año y su variabilidad interanual*
- *periodos de sequía y su variabilidad interanual*
- *distribución de la torrencialidad ordinaria y extraordinaria*
- *periodos de heladas y su variabilidad interanual*
- *periodos vegetativos y su variabilidad interanual*

Del mismo modo que un tiesto que cae desde un balcón tiene una agresividad sobre una cabeza inocente medible por lo que pesa y por lo alto que cae, o sea, dependiente de su masa y velocidad, una gota de agua también tiene la fuerza de erosionar el suelo cuantificable a través de su energía cinética. Lo único que en vez de un objeto pesado y macizo, son muchísimas las pequeñas gotas que caen, y que sumadas sobre un punto, acumulan una nada despreciable energía cinética (masa y velocidad), capaz de arrancar suelo. Baste pensar en los profesionales que limpian nuestras calles aprovechando la fuerza de un chorro de agua escupido desde un camión.



(Ellison)

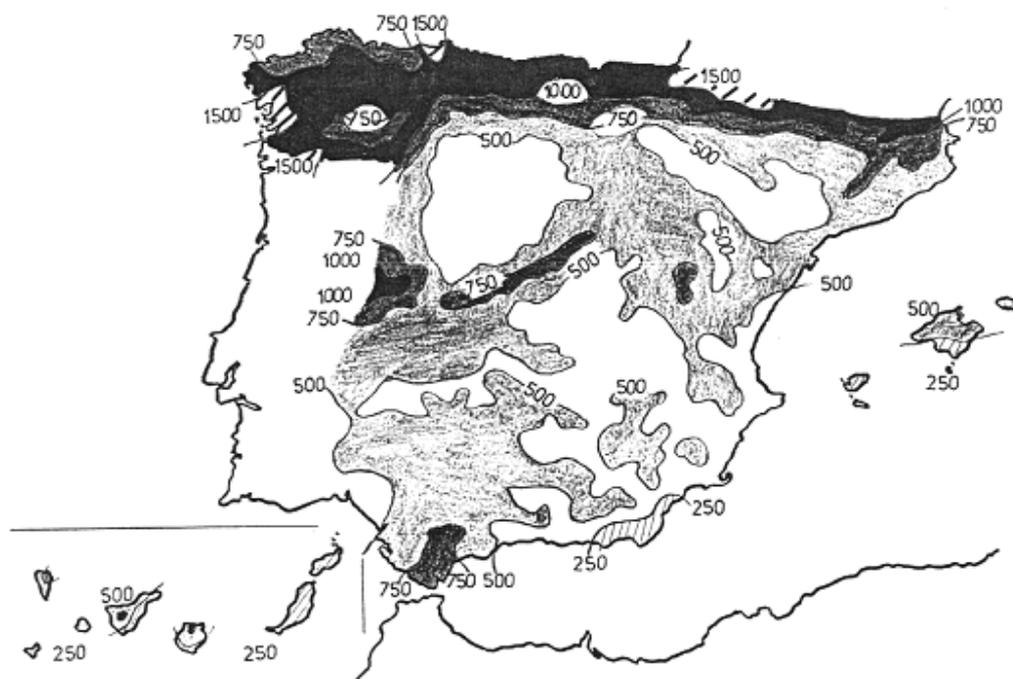
Si una gota cae desde la altura de una nube llegará al suelo con una agresividad mucho mayor que si rebota en una planta que haya por medio, y tal como puede apreciarse en el gráfico, ello sucederá tanto más cuanto mayor sea su peso. Pero además, como se verá más adelante, el que haya vegetación provoca en el suelo una estructura más filtrante, con lo que además de frenar la energía cinética del agua en su caída, la vegetación reduce la cantidad de agua que escurre en superficie, ya que ayuda a una mayor filtración. (Para que nos creamos la fuerza que la suma de las gotas de agua cayendo puede llegar a tener, pensemos en la célebre tortura del goteo de un grifo sobre la cabeza del prisionero, o en las tanquetas que usan agua a presión para la disolución de manifestaciones).

De nuevo el efecto es la reducción de la energía cinética, en este caso por ser la masa menor (o sea la cantidad de agua que baja por una ladera), ya que al bajar por su propio peso, la velocidad de escurrimiento depende sólo de la pendiente. O sea, la vegetación protege frente a la agresividad de la caída (reduce su velocidad de impacto), y frente a la agresividad del agua al escurrir (reduce la masa en superficie), arrastrando lo que encuentre en su camino y sea capaz de transportar. Aquí nos referiremos al primer aspecto de la Agresividad, dejando la Capacidad de Transporte para otro capítulo.

La información meteorológica disponible y tratable estadísticamente no contempla como son las gotas de agua, por lo que para medirlas en su capacidad de erosionar con la caída haya que hacerlo indirectamente a través de la pluviometría, la intensidad,...

Los diferentes métodos de cuantificación que se han usado y usan se exponen en el *Anexo Agresividad Climática* incluido al final, y todos tratan de definir indirectamente a través de la información que existe, la Energía Cinética acumulada en un lugar.

## PLUVIOSIDAD



Lógicamente las conclusiones a las que se llega son coincidentes, pues la energía cinética que al cabo del año se acumula sobre un punto es mayor cuanto:

1. *más llueve (pluviosidad)*
2. *peor llueve (torrencialidad)*

Por ello hay que diferenciar entre

- **Torrencialidad absoluta**, que define la energía cinética acumulada sin más consideraciones, y que por tanto será grande aunque llueva bien, si llueve mucho.
- **Torrencialidad relativa**, que define la energía cinética acumulada por llover de un modo agresivo, y que puede ser grande aunque llueva poco, si llueve mal.

Pero no sólo hay que considerar la torrencialidad media anual, sino que para completar una adecuada descripción cuantitativa, es recomendable incluir la variabilidad entre el año medio y los años reales. Climas regulares tendrán una incidencia de las precipitaciones extraordinarias baja (aquellas que tienen probabilidad de ocurrir al año menor de 1, o sea, las excepcionales respecto a la media), y climas irregulares tendrán coeficientes de agresividad extraordinaria altos.

Existen varios criterios que llegan a un coeficiente que estima la energía cinética del agua: *Fourier, Wichmeier & Smith* (Factor R), *Pons* (Curvas Pluviográficas), y que considerados juntos resumen los diferentes aspectos de la Agresividad, de los que aquí se incluyen ejemplos representativos de varios lugares de la geografía española:

Clima	Torrencialidad absoluta	Torrencialidad relativa	Torrencialidad	Agresividad extraordinaria	Agresividad	Pluviometría
Cantábrico muy torrencial	Muy alta	muy alta	<u>algo positiva</u>	media	<u>muy alta</u>	muy alta
Cantábrico torrencial	Alta	alta	<u>algo negativa</u>	baja	<u>Alta</u>	Alta
Cantábrico poco torrencial	Alta	media	<u>negativa</u>	baja	<u>media</u>	Alta
Continental húmedo	Alta	media	<u>negativa</u>	media	<u>Alta</u>	Alta
Mediterráneo muy torrencial	Muy alta	media	<u>muy positiva</u>	alta	<u>Alta</u>	Alta
Mediterráneo torrencial	Alta	baja	<u>positiva</u>	alta	<u>Alta</u>	Media
Mediterráneo seco y torrencial	Alta	baja	<u>positiva</u>	alta	<u>Alta</u>	Baja
Continental algo torrencial	media	baja	<u>algo positiva</u>	media	<u>Media</u>	Media
Continental no torrencial	Baja	media	<u>negativa</u>	baja	<u>Media</u>	Baja
Continental seco, no torrencial	Baja	media	<u>muy negativa</u>	baja	<u>Baja</u>	Baja
Torrencial semidesértico	Baja	baja	<u>algo positiva</u>	muy alta	<u>Media</u>	muy baja

(los valores numéricos de esta tabla pueden consultarse en el correspondiente *Anexo*)

Puede verse que la Agresividad está definida cuantitativamente por varios índices, y ello da una información de sus diferentes aspectos, por lo que deben interpretarse en su conjunto y no sólo por sus valores independientes. Así la Agresividad será tanto más inoportuna cuanto menos uniforme sean los coeficientes, por ejemplo, el clima torrencial semidesértico de la costa de Almería tiene valores torrenciales bajos, de erosionabilidad media, pero su variabilidad interanual es muy alta, por lo que a pesar de ser un clima poco agresivo, cuando lo es, es muy inoportuno.

Puede con esta tabla recorrerse la fragilidad climática española:

- **Cantábrico muy torrencial**, en el Norte de Pontevedra y Costa de Guipúzcoa. La precipitación máxima ordinaria supera fácilmente los 50mm, y el índice de torrencialidad relativa y erosionabilidad son muy elevados (más de 50 y más de 300 respectivamente), sin embargo dada su elevada pluviosidad (más de 1500 mm/año), y su no alta variabilidad excepcional (entre el 10 y 15%), la torrencialidad es algo positiva, y fácilmente compensable por la reversibilidad.
- **Cantábrico torrencial**, Sureste gallego, interior de Orense y mitad Norte del País Vasco. La precipitación máxima ordinaria (más de 30mm), la pluviometría (más de 1000 mm/año), y erosionabilidad climática (más de 200), describen un clima lluvioso con cierta torrencialidad relativa (más de 40), pero compensada por una baja variabilidad interanual (inferior al 12%), lo que lleva a una torrencialidad algo negativa.
- **Cantábrico poco torrencial**, en el resto de la Cornisa Norte. Con circunstancias de pluviosidad similares al caso anterior, aunque algo menos lluviosos (pluviometría superior a los 750 mm anuales, precipitación máxima ordinaria de más de 30mm), tiene sin embargo erosionabilidad media (entre 100 y 200), baja variabilidad (inferior al 10 %), y en consecuencia una torrencialidad claramente negativa.
- **Continental húmedo**, en estribaciones montañosas elevadas del interior, principalmente en el Sistema Central. Con valores medios en todas sus variables (módulo pluviométrico anual de entre 750 y 1000 mm, precipitación máxima ordinaria algo superior a 30 mm, torrencialidad relativa entre 25 y 40,

agresividad extraordinaria de entre el 10 y 15%, y agresividad climática entre 100 y 200), presenta una torrencialidad negativa.

- **Mediterráneo muy torrencial**, en el Prepirineo Oriental y montañas catalanas. Aún con valores de pluviometría relativamente altos (superiores a 750 mm anuales), presenta una fuerte torrencialidad absoluta (más de 50 mm), alta agresividad (cerca de 300), variabilidad (del orden del 20%) y torrencialidad relativa (próximo a 40), lo que en su conjunto provoca una muy alta torrencialidad.
- **Mediterráneo torrencial**, en la costa catalana, Noroeste de Mallorca y montañas del Levante. Con valores de sus variables inferiores a los anteriores de forma uniforme, presenta una consecuencia torrencial, también menor aunque claramente positiva.
- **Mediterráneo algo torrencial**, en todo el Levante y resto de las Islas Baleares. Pese a tener pluviometría baja (menor a 500 mm), presenta valores torrenciales y de variabilidad altos o medios, lo que lleva a una agresividad menor que en los anteriores casos, pero aún así, positiva, a la que hay que añadir una baja reversibilidad debido a las condiciones de sequía y su irregularidad interanual.
- **Continental algo torrencial**, en las estribaciones montañosas menos elevadas del interior. Con valores medios de pluviometría (más de 500 mm), torrencialidad absoluta (superiores a 30 mm), agresividad (entre 100 y 200), y variabilidad de esta (del orden del 12%), presenta una baja torrencialidad relativa, y su computo total es claramente negativo.
- **Continental no torrencial**, en Extremadura y Andalucía Occidental. Con valores pluviométricos, de torrencialidad absolutos y variabilidad de la agresividad bajos (menos de 500 mm anuales, menos de 30 mm y menos del 10% respectivamente), presenta sin embargo una cierta torrencialidad relativa (algo más de 25) y agresividad climática (algo más de 100), por lo que su torrencialidad es también claramente negativa.
- **Continental seco no torrencial**, en las dos mesetas y ribera central del Ebro. Todos los índices son bajos, excepto tal vez cierta torrencialidad relativa, por lo que presenta la mínima agresividad climática ibérica, y la más negativa de las torrencialidades.
- **Torrencial semidesértico**, en la costa de Almería y Sur de Canarias. Su pluviometría está casi en los límites del desierto climático (250 mm anuales), y ello hace que los valores de torrencialidad no sean altos, pero entre que la erosionabilidad es comparativamente elevada (entre 100 y 200), y que la variabilidad interanual es muy alta (se dan frecuentemente precipitaciones extraordinarias), se producen circunstancias de torrencialidad claramente positiva, a lo que hay que añadir su difícil y lenta reversibilidad.

En los casos extremos puede verse que si la torrencialidad absoluta es alta y la relativa baja, puede significar un clima de alto vigor vegetativo, y por tanto reversibilidad alta que compensa en mucho la agresividad. No sucederá lo mismo con una torrencialidad absoluta baja y relativa alta, pues, el escaso vigor vegetativo, y por tanto la reversibilidad baja, no compensará la agresividad y dará lugar a una elevada fragilidad climática.

Estos análisis indican entre otras circunstancias, la escasa justificación climática que tiene el estado degradado de pequeñas, pero numerosísimas, zonas del interior peninsular, y de producirse inundaciones, es el caso más claro en el que puede normalmente afirmarse que no son por causa de la lluvia, sino de la degradación.

A través de los conceptos manejados es posible describir numéricamente la Agresividad, ahora queda hacer lo mismo con la Reversibilidad, o lo que es lo mismo, cuantificar cuanto vigor vegetativo permite un determinado clima. Diferentes autores y organismos internacionales han publicado diversos criterios que se han traducido en clasificaciones bioclimáticas. Pudiera utilizarse otra, pero aquí se ha seleccionado la de *Allué y Andrade*, basada en la de *Walter y Lieth*, por su adaptación a la información meteorológica disponible, y porque considera los factores limitantes para el desarrollo de la vegetación planteados: evolución estacional de la pluviometría y termometría,

sequías y riesgo de heladas, y en consecuencia periodo vegetativo. La metodología de cálculo se incluye en el *Anexo Reversibilidad Climática*.

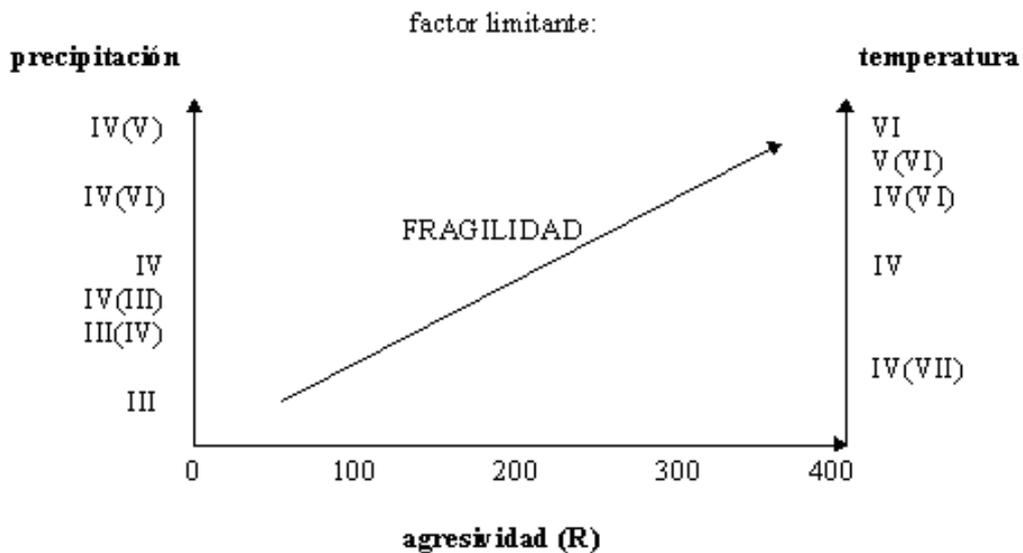
SUBREGIONES FITOCLIMATICAS

(Allué y Andrade)



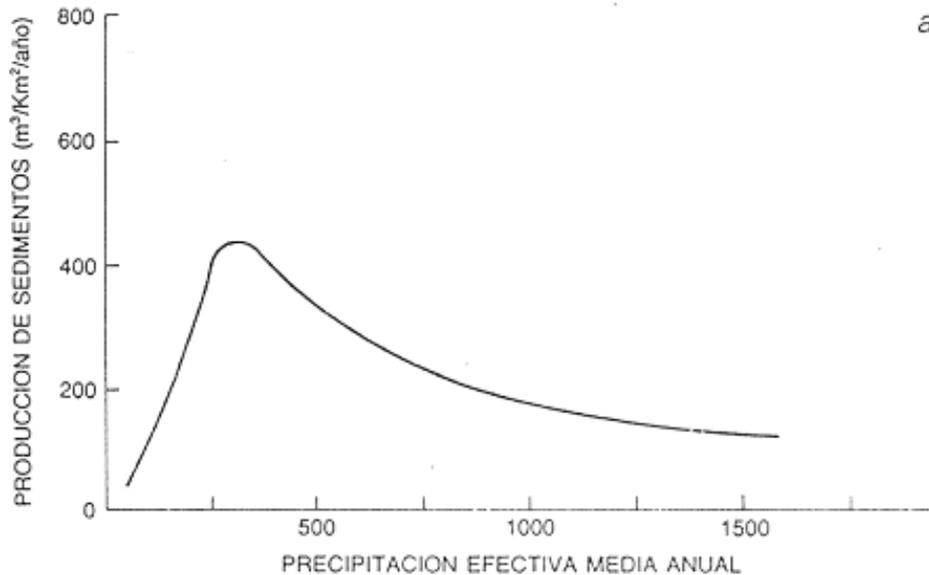
Así la elevada Agresividad climática del Cantábrico torrencial , y en general de los climas húmedos, se ve compensada por una mayor Reversibilidad, dando lugar a bajas fragilidades. Sin embargo no excesivas agresividades de climas secos, tienen una también baja reversibilidad, lo que ponderado puede implicar una mayor fragilidad, del que el ejemplo más extremo sería el Levante español.

Así la fragilidad climática puede medirse y se resumirá en cada localización geográfica por un binomio que expresa: Agresividad (erosionabilidad) y Reversibilidad (clase fitosociológica).

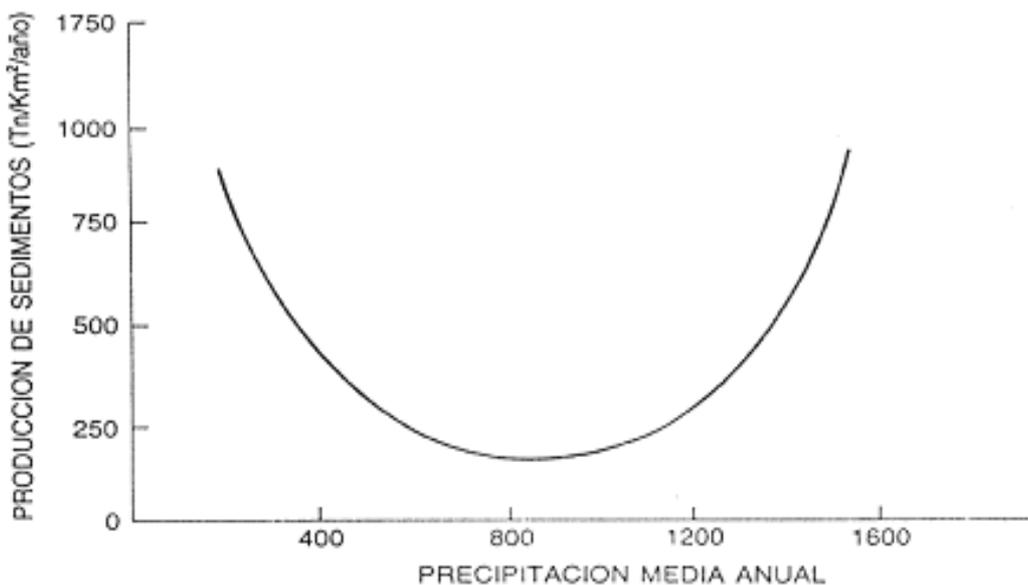


Hasta ahora hemos visto que podemos cuantificar por separado agresividad y reversibilidad, pero su relación sólo la hemos descrito. Falta poder cuantificar cual es la relación entre una y otra, en que medida una tiene mayor o menor peso específico que la otra. Veamos unos cuantos modelos causa-efecto desarrollados al respecto:

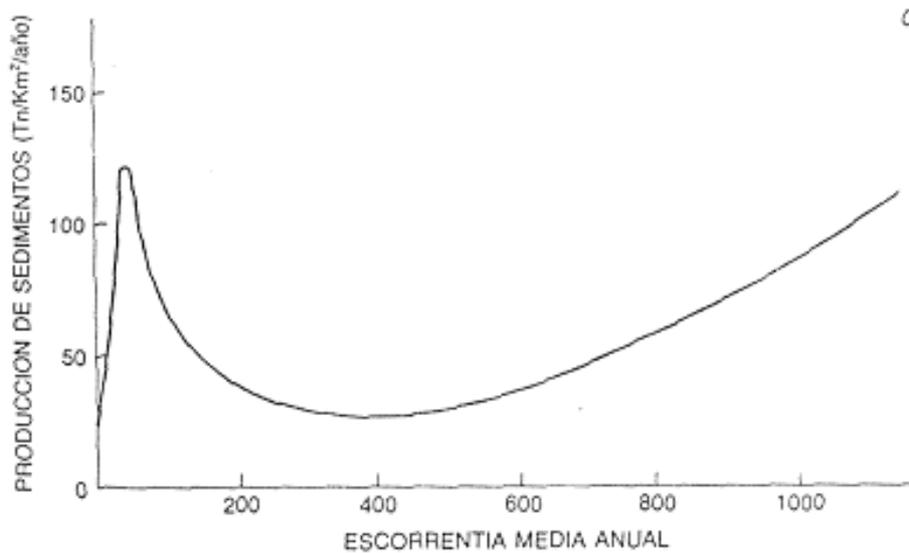
a- *Langbein-Sahumm*, donde el máximo se da en los 300 mm por considerar que hasta esa precipitación la escorrentía generada (capacidad de transporte del suelo), es escasa, y que conforme aumenta la pluviosidad, aumenta la cobertura del suelo y por tanto disminuye de nuevo la escorrentía. Es aplicable a climas de escasa torrencialidad y presión humana.



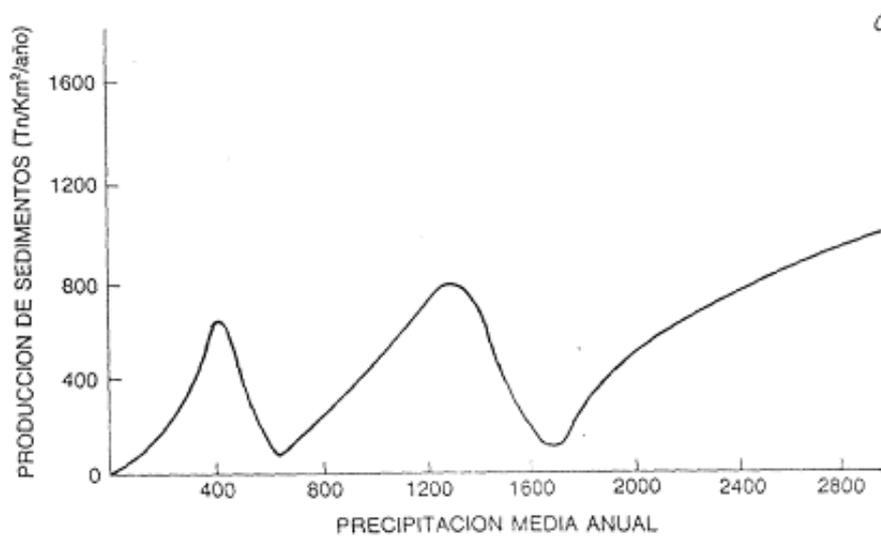
b- *Fourier*, aplicable por encima del máximo anterior, y que considera que para elevadas pluviosidades (índice de torrencialidad absoluta alto), se incrementa la agresividad en mayor grado que la cobertura del suelo por la vegetación



c- *Douglas*, combina ambos criterios con una mayor torrencialidad del clima



d- *Walling-Kleo*, que considera en sus máximos el clima árido (300 mm), mediterráneo húmedo con fuerte estacionalidad (1.300 mm) y tropical



De los diferentes modelos (y siguiendo la nomenclatura fitoclimática referida en el *Anexo Reversibilidad Climática*), se puede resumir que:

- En clima áridos la fragilidad máxima se da a partir de una precipitación media anual de 50 mm (desierto climático), si llueve más cantidad se genera una cobertura estacional de vegetación herbácea que frena la escorrentía y disminuye la erosionabilidad durante los 2 o 4 meses de lluvia (periodo vegetativo)
- En climas semiáridos el máximo se sitúa en los 300 mm, y si llueve más sucede algo similar al caso anterior, si bien el clima puede permitirse el desarrollo de un sustrato arbustivo xerófilo:

*III, cálido de fuerte aridez*

*III(IV), cálido con cierta aridez*

*IV(VII), riesgo de heladas y cierta aridez*

- *En climas continental y mediterráneo secos la cobertura de matorrales y bosques xerófilos disminuyen la fragilidad climática conforme aumente la pluviometría pues retienen la escorrentía tanto mejor como sea su desarrollo vegetativo:*

*IV(III), cálido con fuerte sequía estival*

*IV, con o sin riesgo de heladas pero siempre con cierta sequía*

- *En climas continental y mediterráneo húmedos la tendencia se invierte y dentro de la fragilidad juega un papel más importante la capacidad erosionadora de la lluvia, que la reducción de la escorrentía por la vegetación, por lo que aumenta la fragilidad con la pluviometría:*

*IV(V), de montaña, en Verano cálido con sequía*

*IV(VI), de montaña, frío con riesgo de heladas en Invierno y sequía en Verano*

*X, de montaña extremo*

- *En clima cantábrico la fragilidad es escasa salvo valores puntuales altos de la agresividad (País Vasco y Suroeste de Galicia), en los que se dispara la fragilidad:*

*V(VI), con periodo vegetativo largo*

*VI, con periodo vegetativo corto*

A todo ello hay que añadir que una mayor pluviosidad y menor periodo e intensidad de sequía, producen menor riesgo de incendio, principal vehículo actual para la desertización, una vez ya hemos ensayado y gastado otros más antiguos.

*En la Naturaleza no hay recompensas o castigos, hay consecuencias ( Horace A. Vachel, novelista estadounidense).*

## PROCESOS EDÁFICOS DEGENERATIVOS

El suelo es una estructura compleja y dinámica de diferentes componentes, que llegan con el tiempo a una situación de equilibrio de madurez, y a una compleja interrelación. Al igual que los conceptos manejados en la clasificación de regresión de biotopos, estos factores pueden ser limitantes del desarrollo del suelo por la **Ley del Mínimo**. En función de estas variables limitantes, pueden diferenciarse por su máximo desarrollo posible:

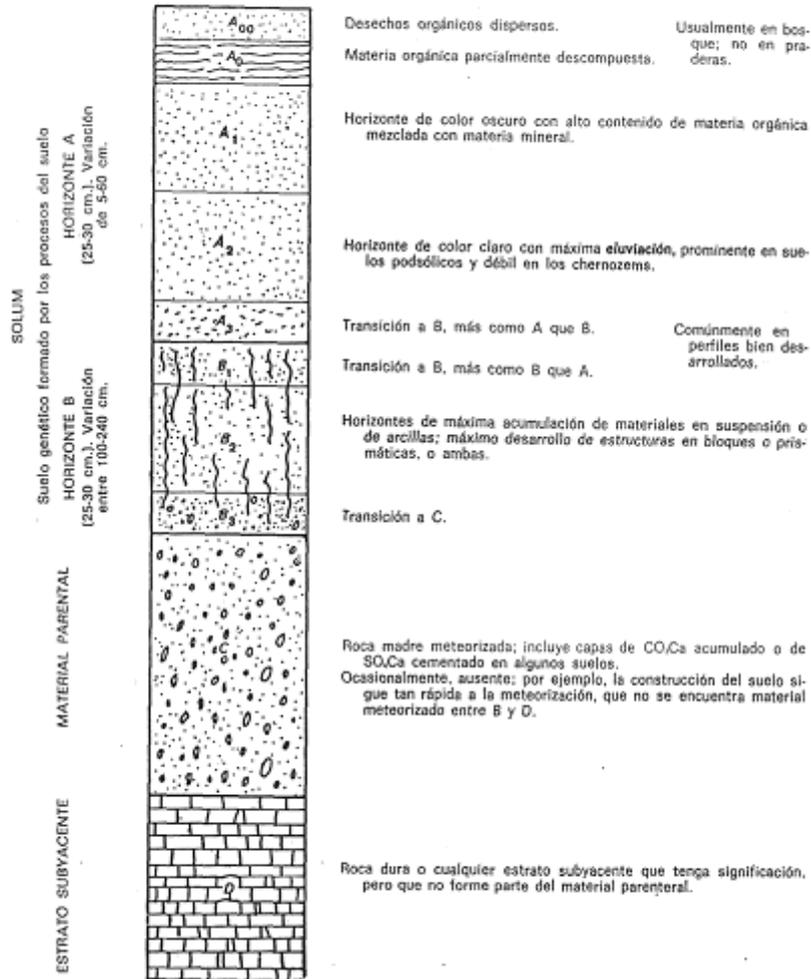
- genéricas.....*suelos zonales*

pudiendo ser sus factores limitantes:

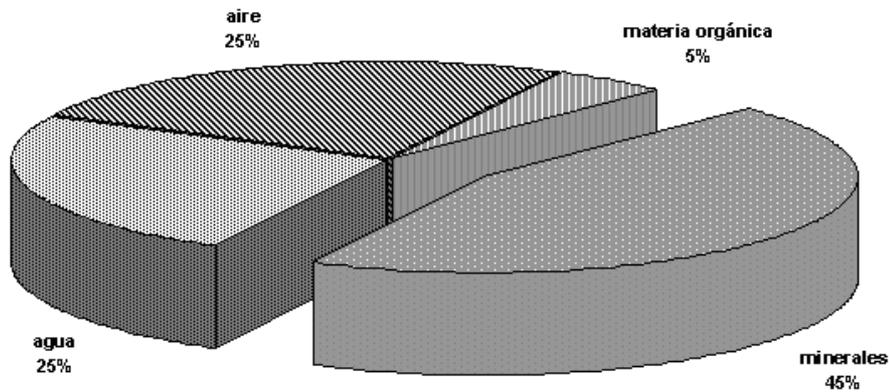
- clima
- régimen termométrico (distribución de temperaturas)
- régimen pluviométrico (distribución de lluvias e intensidades)
- biocenosis
- microorganismos
- microfauna
- vegetación
- particulares
- pendiente.....*suelos azonales*
- litofacies (roca madre).....*suelos intrazonales*
- acción humana.....*suelos degradados*

Conforme las interrelaciones se complican, un suelo en desarrollo máximo se especializa y diferencia en capas u horizontes edáficos, que en su madurez puede llegar hasta:

UN PERFIL HIPOTÉTICO DE SUELO QUE MUESTRA LOS PRINCIPALES TIPOS DE HORIZONTE.  
NINGUN SUELO TIENE ESTE PERFIL COMPLETO  
(En YEARBOOK OF AGRICULTURE, 1957)



En la madurez los componentes del suelo están sinérgicamente relacionados en un equilibrio dinámico, y es la relación entre ellos y no tanto su composición lo que define su productividad. Abstrayendo un suelo zonal típico sobre el que haya llovido en los últimos días, el orden de magnitud de su composición normal en volumen será:



La tierra es un agregado de las partículas minerales y humus descompuesto que contiene huecos, y la forma y distribución de esos espacios vacíos depende del tamaño de dichos elementos:

1. *pedras, gravas y gravillas (diámetro mayor de 2 mm), se amontonan*
2. *arenas (diámetro entre 0,05 y 2 mm), se amontonan y pueden cementarse*
3. *arenas finas y limos (diámetro entre 0,002 y 0,050 mm), se cohesionan y forman poros y capilares*
4. *arcillas (diámetro inferior a 0,002 mm), se entremezclan y cohesionan con los anteriores*

El agua llega y ocupa en función de estas estructuras de forma diferente los espacios creados:

- i. ***Agua gravitacional de evacuación rápida***, se filtra a través del suelo por los huecos que superan los 0,05 mm, creados por arenas gruesas de más de 0,2 mm. El suelo no tiene forma de retenerlas, pero cumple la función de ser el modo de distribuirse rápidamente por todo el perfil.
- ii. ***Agua gravitacional de evacuación lenta***, se filtra mucho más lentamente que la anterior por poros de diámetro superior a los 0,008 mm, formados por arenas finas. El suelo tampoco la retiene, pero cumple la función de distribuir en el tiempo la capacidad de mojarse en el modo adecuado del perfil.
- iii. ***Agua capilar asimilable*** por las plantas, queda retenida en los poros por la tensión superficial del líquido (la fuerza que provoca que un líquido moje, o sea, que tenga querencia por el borde sólido que lo limita). Los poros tienen un diámetro inferior a los 0,008 mm, y están formados por limos y arcillas. El agua queda retenida en el suelo con fuerza suficiente para que la gravedad no la lleve fuera del perfil, protegida relativamente de la evaporación por las capas superiores de suelo, pero no lo suficiente para que las plantas no puedan absorberla por ósmosis activa (con consumo de energía bioquímica), o pasiva (sin).
- iv. ***Agua capilar no asimilable*** por las plantas, queda retenida del mismo modo que la anterior, pero con una fuerza superior a la capaz de ser contrarrestada por las plantas.
- v. ***Agua higroscópica***, retenida electrostáticamente por las arcillas menores de 0,002 mm, debido a que en su superficie se distribuyen cargas estáticas, dejando en el interior las de signo contrario, y atraen a las moléculas de agua y materiales disueltos según ello (las moléculas de agua son bipolares, o sea, tienen una carga positiva y negativa distribuida en sus dos extremos, en uno el oxígeno y en el otro los hidrógenos). El agua y los nutrientes quedan retenidos por una fuerza muy superior a la capaz de ser contrarrestada por ósmosis por las raíces de las plantas, e incluso se resiste a la evaporación. Su función es la de almacén de agua y nutrientes, pues en determinadas circunstancias, puede liberar parte de los mismos al complejo capilar del suelo. Es un dosificador. Los mecanismos de intercambio y puesta a disposición del suelo de agua y nutrientes se describen en el Anexo Interrelaciones Edáficas.

Cada modo de estar el agua en el suelo tiene su función, por lo que lo importante para la productividad es la adecuada proporción entre todos ellos, para que el agua pueda distribuirse en el espacio y tiempo a los capilares, y además se disponga de reservas para cuando no llueva.

Así cada clima podrá presentar como factor limitante el suelo, y según éste la precipitación necesaria será distinta. Un suelo arenoso precisará que llueva mucho más que un suelo equilibrado para que las plantas lo sientan igual, y de ahí el concepto de **lluvia aparente para las plantas**.

En el contacto del agua con los coloides arcillosos (partículas y humus), y con las partículas materiales, se disuelven en el agua los nutrientes que absorberán las raíces de las plantas.

O sea, en el suelo, como en el resto de los aspectos considerados en el análisis de los procesos de regresión y degradación, lo importante es el equilibrio entre los diversos componentes de cada variable, y la ruptura del equilibrio produce inestabilidad y eventual evolución hacia estados de menor productividad.

Así un proceso degenerativo en el suelo reducirá la capacidad de disponibilidad de agua y nutrientes a las plantas, o sea, para las raíces será como si lloviera menos que antes.

Se han descrito la sinergia de los elementos del suelo y su dinámica, pero hemos obviado el motivo principal de desequilibrio del suelo: la acción del hombre. La capacidad del suelo en retener agua depende de la madurez del complejo humus-arcilla-agua, que puede estar afectado por los siguientes motivos:

1. Aprovechamiento indiscriminado y excesivo (roturación, pastoreo, extracción de madera,...), eliminación de la cubierta vegetal y consecuente erosión y transporte:

- la disminución de la protección de la vegetación es la causa del desequilibrio entre clima y suelo, que se recupera a través de la erosión y transporte del suelo hasta una situación estable de menor productividad
- la erosión y el transporte actúan en intensidad de un modo diferente según el:
- tamaño (las partículas grandes se transportan por arrastre y las finas por suspensión)
- grado de cohesión de las partículas (ya sea por cementación física o por agregación coloidal)

si se favorece el lavado de limos y arenas finas, disminuye la capacidad de campo (Ver *Anexo*), y se potencia la compactación de las arcillas, disminuyendo la velocidad de infiltración y la disponibilidad de agua para las plantas, y por tanto la productividad edáfica.

- si se reduce el papel de dosificador del agua de la vegetación y humus a través de la intercepción (lo que se moja y encharca), a igual régimen torrencial (distribución de intensidades de un aguacero), el suelo filtrará menor cantidad de agua, es decir, si no hay un freno de las hojas y la materia en descomposición a la agresividad del agua al caer, el agua mojará el suelo durante menos tiempo y con mayor fuerza, por lo que aumentará la escorrentía.

la erosionabilidad (inversa de la resistencia frente a la erosión, o resistividad) de un suelo es medible a través de índices cuyo cálculo se detalla en el *Anexo*

*Muestreo y Análisis de Suelos*, de los que es de destacar el factor K, pues se utilizará más adelante en esta exposición.

Según muestreos realizados en el *Proyecto LUCDEME* (1983), son valores normales medios del factor K de *Wischmeier* en España, para las siguientes litofacies (generadoras de suelo), de mayor a menor erosionabilidad:

suelos removidos (agricultura, construcción)	0,90
arcillas, limos, arenas, turbas, depósitos	0,50
areniscas, rocas sedimentarias blandas	0,44
margas, conglomerados, rocas sedimentarias	0,32
dolomías, calizas no kársticas, pizarras horizontales	0,27
calizas, granitos, pizarras metamórficas	0,15

O sea, que según sea la roca generadora del suelo, este puede ser hasta 3 y 4 veces más resistente que otro.

## 2. Incendio o quema, que de forma drástica:

- elimina la protección vegetal del suelo frente a la erosión y transporte de materiales, principalmente finos
- descompone el humus en productos minerales solubles (normalmente óxidos catiónicos), y los pone a disposición de absorber por plantas que ya no existen
- se forma una costra que disminuye la capacidad de infiltración, y por tanto aumenta la escorrentía
- elimina parte de la estructura coloidal, y por tanto parte de la capacidad de retención, reserva y dosificación de nutrientes y agua
- sobretodo en suelo forestal los coloides solubilizados son principalmente acidoides, y se disminuye el pH (acidificación), que a su vez facilita la dispersión (puesta a disposición del suelo de nutrientes), que ayuda al lavado (arrastre de los elementos disueltos hacia abajo, incluso donde ya no llegan las raíces y aguas subterráneas)
- inmediatamente después del fuego la disponibilidad de calcio soluble aumenta el pH, pero al llover y lavarse, la falta de oxígeno utilizado en la combustión aumenta la concentración de cationes de hidrógeno (acidificación), que exagera por dispersión el lavado
- se volatilizan en el aire elementos que por descomposición hubieran pasado a formar parte del complejo del suelo: nitrógeno (N<sub>2</sub>) y carbono (CO<sub>2</sub>) principalmente
- como defensa natural a la acción del fuego, aumenta en los meses siguientes al fuego la capacidad metabólica del ecosistema consecuencia de:
  - incremento de la luminosidad y por tanto de la temperatura del horizonte superior
  - incremento de la actividad microbiana
  - reducción de la transpiración vegetal y por tanto aumento de la disponibilidad de agua

- disponibilidad instantánea de nitrógeno en forma de amonio ( $\text{NH}_4^+$ )

por ese motivo es práctica utilizada por agricultores (quema de rastrojos) y ganaderos, incremento a corto plazo de la producción y reducción de la productividad a largo.

la cuantificación del grado de regresión (empobrecimiento y compactación), o de degradación (salinización, erosión+transporte) se realiza a través índices de erosionabilidad y de análisis comparativos de productividad, que se verán más adelante

### 3. Utilización de pesticidas (insecticidas, fungicidas, herbicidas,...)

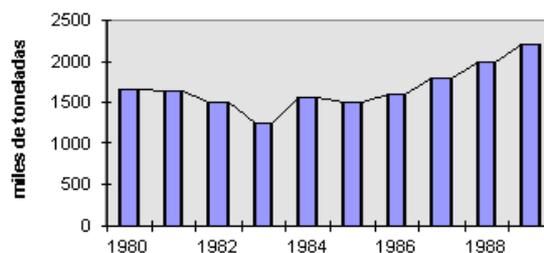
inciden en la población microbiana, cuya misión es descomponer y dosificar el humus, que no sólo son nutrientes, sino además coloides; para cuantificar los efectos se miden en laboratorio cultivos de muestras en zonas similares: afectadas y sin afectar

### 4. Utilización de fertilizantes inorgánicos

- la explotación del suelo para cultivo hace que retiremos del sistema el aporte de humus, y reduzcamos así la capacidad de regulación del complejo coloidal y la formación de poros, por lo que el suelo necesita que llueva más para que las plantas crean que el clima sigue igual
- los compuestos más utilizados para suplir la retirada de nutrientes y consecuente disminución de la productividad, son de origen mineral, con composición variable principalmente de NPK (nitrógeno, potasio y sodio), con un nivel de impurezas que raramente baja del 60%, estando estas constituidas habitualmente de oligoelementos, metales y metaloides por lo general poco móviles (poco intercambiables en el complejo coloidal)
- los fertilizantes pasan directamente a la solución del suelo, con disponibilidad inmediata para las plantas, pero no cooperan en el mantenimiento de la estructura edáfica; así se crea en el suelo una adicción a los fertilizantes por la que cada vez, al ser su estructura menos desarrollada, necesita aporte de nutrientes más frecuente (si cada vez hay menos coloides y poros, las sustancias solubles aportadas serán cada vez menos útiles)

así con menor implicación de la estructura coloidal es más fácil el lavado de nutrientes, principalmente de nitratos, sulfatos y potasas (estas últimas cooperan grandemente en la eutrofización de aguas subterráneas), y los aportes además tienen que ser cada vez más abundantes, (el 75% de los fertilizantes inorgánicos se lavan a profundidades extraedafológicas y no son aprovechados por las plantas)

Consumo de fertilizantes en España



la cuantificación de las consecuencias de la fertilización masiva con abonos inorgánicos se puede realizar por comparación de productividades entre dos momentos conocidos, o midiendo las características hídricas y texturales (Capacidad de Campo, Porosidad, etc...)

5. Eliminación de matorral o arbolado en perfiles con capas semiprofundas impermeables o altamente iluviadas (han retenido los materiales lavados desde perfiles superiores):
  - las raíces que llegan a los horizontes inferiores, y que son capaces de romperlos para que drenen, son eliminadas
  - el humus se descompone en estos casos principalmente en metano (CH<sub>4</sub>), oxígeno libre (O<sub>2</sub>), hidrógeno libre (H<sub>2</sub>),... en estado gaseoso, y por tanto para el suelo desaparecen
6. Empadrizamiento
  - los prolongados periodos de sequía pueden producir una floculación extrema de los coloides (compactación), que de tener entre ellos partículas aglomerantes, pueden producir cementos naturales, (tales como arcillas mineralógicas, caliza finamente dividida, colides férricos,... ), y que aunque llueva con posterioridad son de lenta reconstrucción estructural
  - la maquinaria de extracción de recursos y el paso reiterado de ganado por determinadas vías produce una compactación difícilmente penetrable por el agua
  - si se reduce la infiltración, directamente aumenta la escorrentía, o sea, el despilfarro del agua
7. Riegos por encharcamiento
  - en determinados cultivos, sin ser necesario, este tipo de riego, además de ser un lujo, provoca una más rápida descomposición de la materia orgánica, e incluso, como hemos apuntado anteriormente, una polimerización menos útil al producir compuestos volátiles
  - la descomposición anaerobia se comienza a dar cuando el volumen de macroporos es inferior al 15% (insuficiente aireación)
8. Salinización,  
por utilización indiscriminada de abonos inorgánicos en combinación con riegos por encharcamiento, excesivos y en suelos frágiles, que conducen al desplazamiento de nutrientes fuera del alcance de las raíces, y/o a la acumulación por sustitución coloidal de sales disueltas en pequeñas dosis en el agua utilizada. (Ver Anexo *Interrelaciones Edáficas*).
9. Podsolización,  
como consecuencia de la acidificación causada por algunas de las circunstancias anteriores, en climas templado-fríos sobre suelo silíceo
  - al disminuir el pH, se favorece la solubilidad del humus polimerizado (descompuesto) en ácidos fúlvicos, que se combinan con óxidos metálicos y se lavan a horizontes inferiores donde iluvian (se quedan), empobreciendo los horizontes superiores

De todas estas causas hay que diferenciar aquellas que producen regresión de las que crean degradación. La estructura del suelo y el complejo coloidal son regenerables normalmente si no existe pendiente que facilite el transporte de materiales, pero si como consecuencia de la extracción indiscriminada o el fuego se produce transporte de suelo, superficial o vertical, existe un importante riesgo de degradación y desertificación.

Así pues para medir el grado de regresión o degradación provocado por una determinada acción sobre el suelo, habrá que comparar los valores que definen la productividad y fragilidad del suelo zonal y degradado, para decidir si la rentabilidad obtenida lo justifica.

En el caso concreto del fuego, si no existe transporte de materiales el efecto puede no ser excesivamente perjudicial, o incluso beneficioso (en condiciones de difícil humidificación o suelos alcalinos en llano), pero si existe suficiente pendiente para generar escorrentía, los efectos sobre la erosión permanecen durante entre 10 y 20 años.

La fragilidad frente a la regresión edáfica contempla pues la Resistencia a inestabilizar la estructura del suelo, y la Reversibilidad en su recuperación, y esta **será posible en plazos de tiempo a escala humana siempre y cuando la proporción de partículas se mantenga en cada perfil**, aunque su estructura no. En la degeneración edáfica el paso de fase de Regresión a Degradación está en el transporte de elementos de un lugar a otro, ya sea incorporando o eliminado partículas y nutrientes:

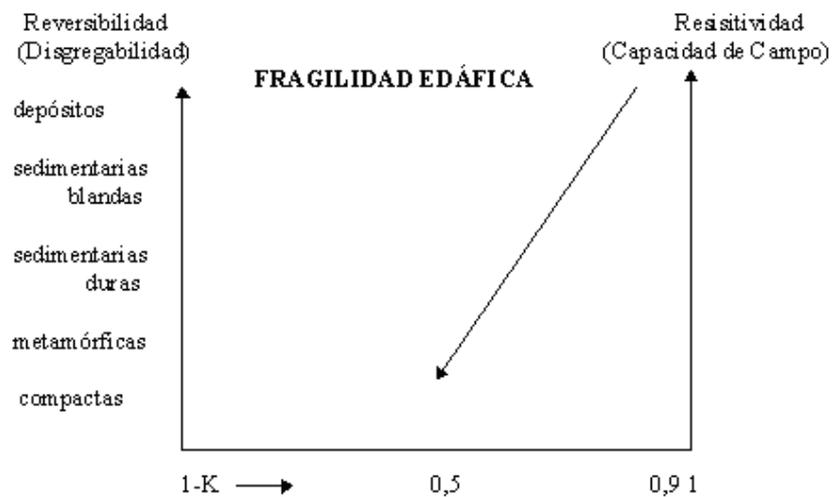
- verticalmente, si se incrementa la infiltración arrastrándolos a perfiles inferiores (impermeabilización y encharcamiento), o incluso extraedáficos, o bien si se incorporan en exceso nutrientes (salinización)
- horizontalmente, si se produce erosión y transporte por la escorrentía

Dado el objeto de este análisis, Desertización, habrá que centrarse en la fragilidad frente a la degradación, que tiene dos aspectos complementarios a medir: Resistencia (mayor cuanto menor es la erosionabilidad), y la capacidad de Regeneración (en relación directa a la disgregabilidad de la roca madre a igualdad de otras circunstancias). Se da la circunstancia de que cuanto más compacta y dura es la roca sobre la que se asienta el suelo, menos erosionable es este pero más difícil de regenerar. Así, para medir la fragilidad habrá que considerar ambos valores.

Tipo de roca		Roca madre	Resistividad	Textura	Estructura
Igneas	Plutónicas	Granito	Normalmente resistente, excepto cuando alterado	Gruesa	Masiva
		Sienita	Normalmente resistente	Muy gruesa a media	Masiva
		Diorita	Normalmente resistente	Muy gruesa	Masiva
		Gabro	Normalmente muy resistente	Muy gruesa a media	Masiva
	Volcánicas	Basalto	Normalmente resistente	Vítrea fina	Masiva
		Andesita	Normalmente resistente	Vítrea media fina	Masiva
		Traquita	Normalmente resistente	Vítrea media fina	Masiva
Sedimentarias	Coherentes	Riolita	Normalmente resistente	Vítrea fina	Fluidal masiva
		Arenisca	Resistente si el agente cementante es corriente	Media a gruesa	Vairable
		Cuarcita	Muy resistente	Muy fina	Masiva
		Marga	Muy débil	Muy fina	Masiva
		Pizarra	Normalmente débil	Muy fina	Laminar
	Incoherentes	Caliza	Débil en zonas húmedas, resistente en secas	Fina a gruesa	Variable
		Conglomerado	Muy resistente	Muy gruesa	Variable, normalmente masiva
		Grava	Moderadamente resistente	Gruesa	Particular
		Arena	Normalmente débil	Media a gruesa	Particular
		Arcilla	Débil	Muy fina	Particular
Metamórficas	Origen sedimentario	Cuarcita	Muy resistente	Muy fina	Masiva a esquistosa
		Mármol	Débil	Fina a gruesa	Masiva algo esquistosa
		Pizarra	Débil	Muy fina	Esquistosa
	Origen ígneo	Esquisto	Normalmente resistente	Fina a media	Esquistosa
		Gneis	Normalmente muy resistente	Media	esquistosa

( Adaptado de *Lobeck*, 1933, por *Briggs*, 1977, y *Way*, 1973)

En degradación, la fragilidad estará condicionada pues por:



La fragilidad de una regresión del suelo por destrucción del complejo coloidal y lavado de nutrientes, es de un orden de magnitud de décadas, (plazo para recuperar la productividad), lo que es incomparable a la fragilidad de la erosión física, que puede ser de siglos.

*Si las grandes tradiciones religiosas hubiesen considerado pecado comer la carne de cabra, en vez de la de cerdo o vaca, tal vez los desiertos actuales no serían tan extensos.*

## EROSIONABILIDAD

Construir 1 mm de suelo es un proceso lento que puede durar en base a roca compacta del orden de hasta un siglo, erosionar ese mismo suelo puede suceder en un día. Por ello los procesos de erosión mecánica son los más frágiles, y su importancia en el Mediterráneo Occidental la hace el problema medioambiental más grave en nuestro entorno.

La erosión es un proceso natural de reequilibrio entre acciones geológicas y climáticas, sin embargo tiene su ritmo natural, que de ser alterado (degradación antrópica directa o indirecta), a través de la reducción de la protección del suelo por la vegetación, puede llevar a la desertificación.

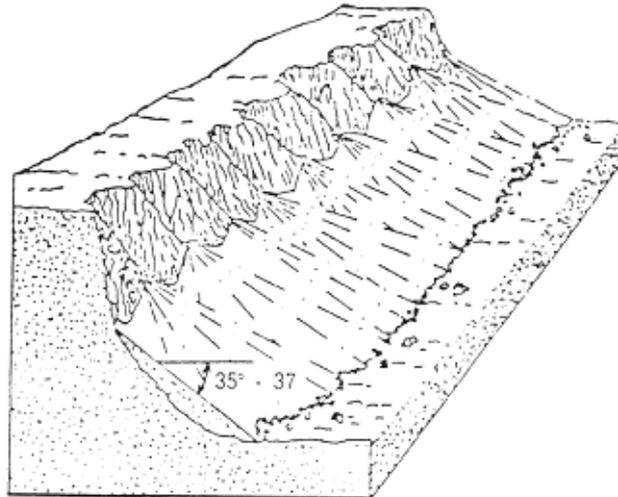
Procede del latín “rodere”, corroer, y se denominan así a los procesos de desgaste y disgregación mecánica o física por agentes naturales:

- olas, **erosión marina**
- glaciares, **erosión glaciár** (valles en U, depósitos morrénicos)
- viento, **erosión eólica**
- deflación, arrastre y barrido de partículas sueltas
- abrasión, frotamiento de las partículas arrastradas contra las rocas
- agua, **erosión hídrica**: movimientos del suelo
- superficial: disgregación, dispersión y arrastre
- laminar, erosión uniforme mayor cuanto menor es:
  - tamaño de las partículas (texturas no arenosas)
  - estructura sinérgica del suelo (interrelación entre las partículas)
  - capacidad aglomerante de las arcillas
- en regueros, paso posterior a la laminar, pues esta erosiona primero los elementos más finos, dejando las gravas gruesas y piedras, que son para la escorrentía (el agua excedente que baja superficialmente), irregularidades que se sortean por surcos o regueros orientados normalmente de forma perpendicular a las curvas de nivel, o sea hacia abajo.
- en cárcavas y barrancos, evolución de la anterior en zonas concretas de concentración de escorrentía sobre rocas sedimentarias blandas
- en cauces, por la acción erosiva del drenaje; conforme se incrementa el caudal líquido, aumenta la capacidad de arrastre (energía cinética) y con ello la cizalla basal y la capacidad de erosión
- profunda: la acción del agua crea en el subsuelo condiciones para que este se desplace por gravedad, el perfil se rompe afectando a superficies localizadas
- **reptación (rocas) y solifluxión (capas superiores)**: lento movimiento del suelo en pendientes fuertes por gravedad (del orden de 1mm/día)

- **corrientes terrosas:** análogo como consecuencia del incremento de peso al absorber agua suelos arcillosos en los que se ha eliminado las raíces leñosas que lo sujetaban
- **coladas de lodo:** sobre una capa impermeable en pendiente el suelo resbala rápidamente por cauces de barro, al incrementarse fuertemente su peso como consecuencia de lluvias, que no escurren suficientemente por un exceso de arcillas en terrenos de fuerte pendiente deforestados. Sus consecuencias pueden llegar a ser catastróficas. Pueblos enteros han desaparecido bajo su acción, y actualmente es noticia desgraciadamente común, sobretodo en Sudamérica y Asia.
- **deslizamientos**, que se producen bruscamente cuando dos capas de suelo presentan una clara discontinuidad, y la superior se desplaza normalmente por:
  - fuertes pendientes
  - disposición estratigráfica con inclinación paralela a la pendiente (principalmente con litofacies de pizarra)
  - raíces de profundidad uniforme (plantaciones de herbáceas en ladera, que crean un perfil superior muy diferenciado del inferior por las raíces todas parecidas en profundidad)
  - horizonte superior muy arcilloso, con gran capacidad de retención del agua, que provoca un incremento de peso cuando llueve, sobre una capa diferenciada
  - hielo debajo de la superficie del suelo
 forman “conchas” de forma característica



- **derrumbes:** por la erosión de la parte baja de un talud, característico de desmontes y terraplenes de caminos y carreteras y laderas con fuertes pendientes



- **hundimientos:** por la formación de huecos y cavernas

Dentro de lo que entendemos por desertificación, se cuantificarán aquí principalmente los efectos erosivos hídricos y eventualmente los eólicos superficiales, pues los demás procesos son de ocurrencia muy localizada, y la única forma de evaluarlos es a través de muestreos o recuentos en fotografía aérea (Ver *Anexo Operativa de Análisis*).

Para medir la fragilidad (erosionabilidad + capacidad de regeneración), puede recurrirse según el nivel de detalle requerido a:

- *Distribución estratificada de parcelas y toma de datos estadísticos (encuestas a porciones de suelo de similares condiciones climáticas, edáficas, orográficas y ecológicas), para estudios científicos. Su coste es alto y aplicabilidad limitada, pero son imprescindibles para depurar el conocimiento de la génesis erosiva y desarrollar métodos indirectos cada vez más fiables para determinar fragilidades.*

*Las parcelas son superficies cerradas a la entrada de sedimentos de otras localizaciones aguas arriba por zanjas o paredes, con un depósito recolector (tipo embudo), en su parte inferior donde se recogen los caudales sólidos y líquidos generados.*

*Con el fin de determinar la genética (causas) de los procesos, en cada grupo de parcelas de un mismo estrato estadístico (homogéneo en sus características), hay que tomar a su vez datos a relacionar con los efectos anteriores medidos:*

- *pluviográficos*
- *edafológicos*
- *orográficos*
- *de la vegetación*

*En estudios más extensos y menos detallados, se han usado también estacas marcadas y clavadas en el suelo en sustitución de las parcelas cerradas, que se van revisando periódicamente.*

- *Estimaciones indirectas a través de:*
  - *medida de aterramiento de diques o embalses en periodos de pluviometría conocida (sedimentación)*

- *muestreo de acarreos y suspensiones en cauces (caudal sólido)*
- *por recogida directa de muestras*
- *por instrumentos de medida de isótopos*

*Lógicamente también en este caso es recomendable establecer relaciones causa-efecto considerando la morfología, orografía, geología y estado de la vegetación en la cuenca que cierra el punto de medida (es equivalente a considerar la cuenca vertiente a dicho punto como una enorme parcela). La Cuenca Vertiente es aquella superficie tal que cualquier gota de agua que caiga en ella y escurra, acabe en un punto determinado.*

- *Modelos de simulación causa-efecto a partir de los factores generadores de los procesos, para aplicaciones prácticas en ordenación del territorio. Su construcción estadística se ha realizado a partir de la información de los anteriores, y su aplicación es genérica.*

*Elementos que definen la fragilidad (en este caso erosionabilidad):*

- *Activos:*
  - *Agresividad del clima (fragilidad climática)*
  - *Acción antrópica*
- *Pasivos:*
  - *Pendiente (fragilidad orográfica)*
  - *Resistencia del suelo (fragilidad edafológica)*
  - *Protección de la vegetación*

En el *Anexo Erosionabilidad Hídrica*, se describen las metodologías de medida.

Lo normal es utilizar los primeros para estudios científicos (detallados y de escasa aplicabilidad generalizada), que permiten con sus resultados perfeccionar los modelos causa-efecto de más útil aplicación en la lucha contra la desertificación.

Conocemos como se estima la erosionabilidad climática (agresividad del clima) y edáfica (resistividad del suelo), sin embargo es necesario que el agua pueda hacer efectiva la erosionabilidad transportando las partículas separadas del suelo, para lo que precisa que el agua pueda escurrir (bajar), y por tanto necesita pendiente, lo que introduce un concepto análogo a los ya vistos: la **Fragilidad Orográfica**.

En 1943 *J.M. García Nájera* del *IFIE*, determinó a partir de las distribuciones de velocidades en el escurrimiento de una lámina de agua de *Prony y Bazin*, y las leyes hidráulicas de capacidad de arrastre de cuerpos sólidos por el agua, las siguientes limitaciones de aprovechamiento por causa de la capacidad de la orografía en hacer efectiva la erosionabilidad. Como criterio general aún hoy en vigor:

- *cultivos*

iniciación de la erosión laminar.....	2-3%
erosión laminar intensa.....	4-5%
arrastre total y cárcavas.....	18-20%

(entre el 5 y 18% los efectos dependerán, como veremos, de las técnicas agrícolas utilizadas)

- pastos (cobertura completa del suelo)

pendiente máxima admisible.....30%

(aplicable generalmente en el Norte de la Península, pero sólo en casos concretos de la cuenca mediterránea con cobertura completa del suelo por la hierba)

Como el resto de las fragilidades descritas, la orográfica se compone de resistividad (suplemento de la agresividad o propensión), y capacidad de influir en la velocidad de regeneración de la vegetación (reversibilidad).

- *La propensión a hacer efectiva la erosión es proporcional a la energía cinética del agua escurriendo superficialmente, y depende de la velocidad de la lámina de agua que cae, que a su vez es función directa de la pendiente.*

- *Cuanto mayor sea esta, el tiempo para infiltrarse será menor y las migraciones oblicuas del agua serán más fuertes, y por tanto la humedad del suelo también menor (menos agua gravitacional, que como hemos visto es el vehículo de distribución del agua absorbible por las plantas y de la que utiliza el complejo del suelo para dosificar la disponibilidad de nutrientes); por tanto cuanto mayor sea la pendiente menor será la capacidad del suelo en regenerar una cubierta vegetal, pues su lluvia aparente para las plantas será más baja.*

Así pues, en los dos aspectos de la fragilidad orográfica, cuanto mayor es la pendiente también lo es aquella. En el *Anexo Fragilidad Orográfica* se detallan los criterios de medida, de los que cabe destacar el factor LS, que es positivo a partir de una pendiente del orden del 8 %, o sea, que en ese orden de inclinación pasa a ser un elemento de resistividad a agresividad.

Valores medios del factor LS,

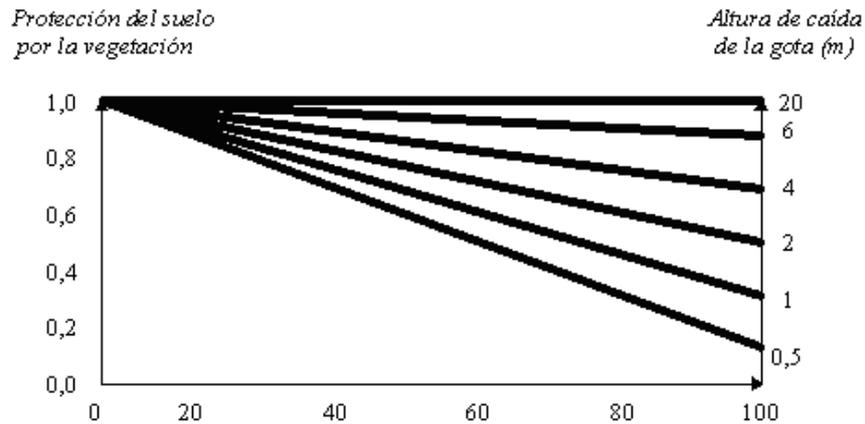
Pendiente (%)	LS
0-3	0,16
3 - 12	1,00
12 - 20	3,40
20 - 25	5,25
25 - 35	7,25
> 35	23,00

O sea, que un sólo grado de pendiente incrementa la fragilidad orográfica del orden del 25 al 30 %, lo que indica su gran importancia en la agresividad total.

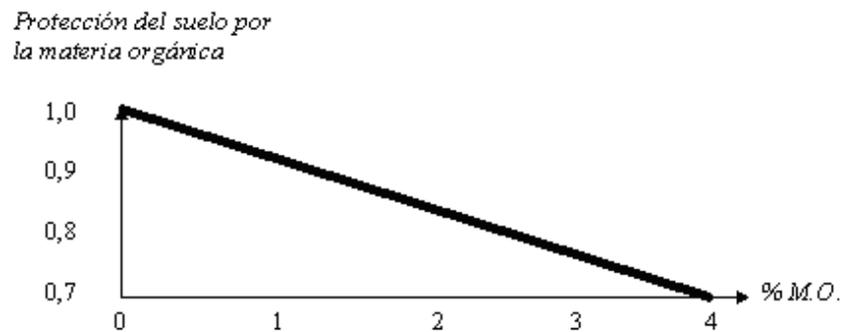
La Fragilidad es pues hasta aquí la conjunción sinérgica de la Climática, Edáfica y Orográfica, pero en el equilibrio natural (sin intervención humana), está estabilizada con la resistividad y reversibilidad que proporciona la vegetación.

Los mecanismos por los que la vegetación protege al suelo se basan en la reducción de la energía cinética del agua al caer y de la escorrentía superficial, y por tanto en el aumento de la capacidad de infiltración:

- reducción de la energía cinética de la gota de lluvia sobre el suelo, al reducir la velocidad de impacto; el siguiente gráfico cuantifica la reducción del factor C (cuantifica el grado de protección del suelo por la vegetación), por esta causa.

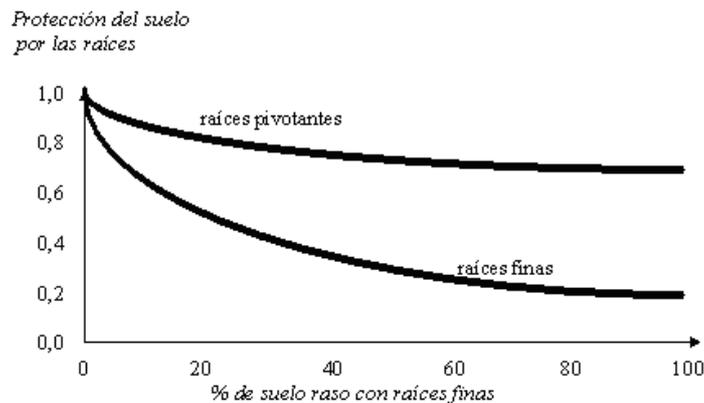


- la intercepción del agua por las plantas y el humus, reduce la escorrentía superficial (los valores normales están alrededor del 20% de la precipitación, o sea sin vegetación al suelo le parece que llueve 1/5 parte menos)
- la presencia de vegetación herbácea y humus reduce por rozamiento la energía cinética de la lámina de agua que escurre; el siguiente gráfico cuantifica en cuanto reduce el factor C (aumenta la protección):



(Dismeyer y Foster, 1984)

- las raíces favorecen la escorrentía subterránea, y por tanto reducen la superficial; el siguiente gráfico cuantifica la disminución del factor C en función de las raíces:



(Dismeyer y Foster, 1984)

- la penetración de cualquier tipo de las raíces descompacta los suelos arcillosos, rompe posibles capas impermeables, y favorece la creación de poros
- como hemos visto, la materia orgánica en descomposición (polimerización), actúa sinérgicamente con la textura del suelo para crear una estructura para dosificar agua y nutrientes
- las raíces de las plantas leñosas sirven de estructura (“columnas y vigas”) del suelo frente a movimientos en masa

Para estimaciones genéricas, la reducción de la Agresividad que tiene que compensar la vegetación es:

Vegetación	Factor C	Reducción de la Agresividad (%)
Arbolado forestal denso	0,01	99
Arbolado forestal claro	0,03	97
Matorral denso	0,08	92
Matorral claro y eriales	0,20	80
Cultivos arbóreos y viñedos	0,40	60
Cultivos anuales y herbáceos	0,25	75
Cultivos en regadío	0,04	96

(Proyecto LUCDEME, 1983)

Lo que indica por ejemplo, que tener bosque reduce la agresividad a un 1% de la que por climatología y pendiente tendría si no existiera, o que sustituir un bosque por un triguero permite aumentar la agresividad 40 veces, por lo que la limitación de esa acción será la de hacerlo en una pendiente o de tal modo que se impida que lo erosionado se vaya con el agua hacia otros lugares o hacia el mar.

En el caso concreto de explotaciones agrícolas hay que considerar además:

- la distribución estacional del factor R en relación a su coincidencia con las diferentes fases del cultivo, según se describe en el *Anexo Agresividad Climática*, pues puede suceder que en el momento en el que el suelo queda más desprotegido (después del arado), coincida con una época de fuertes tormentas (o no).
- utilización de prácticas de conservación de suelos para el cultivo estable de terrenos en pendiente:
  - **cultivo a nivel**, o sea con los surcos lo más perpendiculares a la pendiente que sea posible, como técnica de dificultar el drenaje superficial a través de provocar charcos entre los surcos que el suelo filtrará con el tiempo aumentando la lluvia aparente para las plantas y reduciendo el agua que baja (lluvia aparente para las personas)

aplicable con buenos resultados hasta pendientes del 12% y aún mayores, con la limitación del riesgo de vuelco de los tractores (en cuyo caso significa que se está intentando arar un suelo no cultivable), y la condición de que no existan riesgos de encharcamiento por ser el clima lluvioso, o por tratarse de suelos

arcillosos o con capas impermeables inferiores (en cuyo caso, deberá ararse tanto más oblícuo a la ladera cuanto más se den estas circunstancias), siempre limitado por no trabajar aquellos suelos que no pueden trabajarse

- **cultivo en fajas** siguiendo curvas de nivel, alternando escalones de menor pendiente y cultivándolos como en el caso anterior, dejando fajas de mayor pendiente con barbecho, matorral o repoblado

aplicable a pendientes de hasta el 18 o 21%, con las mismas limitaciones anteriores

- **cultivo en terrazas**, eliminando la pendiente con maquinaria de desmonte en pendientes superiores, una solución traumática y en ocasiones necesaria, si bien presenta un alto impacto paisajístico e inconvenientes por la inestabilidad de terraplenes

- en climas secos se suelen utilizar terrazas de infiltración, con la pendiente hacia el interior para provocar encharcamiento en ellas, disminuir así la escorrentía y aumentar la lluvia aparente para las plantas

- en climas húmedos o en suelos susceptibles de encharcarse, se utilizan terrazas de desagüe, que dan salida al agua si ésta se acumula ya sea por canalización o por pendiente hacia el exterior

- **cultivo en bancales**, eliminando los inconvenientes anteriores además de incrementar la superficie útil, pero de elevado coste, si bien se conservan históricamente amplias áreas con este tipo de técnica de producción en ladera

La valoración de los efectos que producen estos modos de cultivar, se incluyen en el *Anexo Erosionabilidad Hídrica*. Pero sólo el cultivar perpendicularmente a la pendiente, si esta no es fuerte, reduce la erosionabilidad a la mitad, además de hacer creer a las plantas que llueve más (hasta un 20%), ya que se provocan encharcamientos que aumentan la infiltración; o destrozar una ladera con terrazas de infiltración, además de lo anterior, acelerando la creación de suelo perdido, reduce la erosión 20 veces.

En la siguiente tabla se indica el porcentaje de protección respecto a la no utilización de estas prácticas en lo que se refiere a pérdidas de suelo:

% pendiente	cultivo a nivel	cultivo en fajas	terrazas de desagüe	terrazas de infiltración
2 – 7	50	75	90	95
8 – 12	40	70	88	95
13 – 18	20	60	84	95
19 – 24	9	55	82	94

(USDA, 1975)

Se trata de trabajar el suelo pensando en el agua y no en la comodidad, pues el agua que cae del cielo no es influible por el agricultor (salvo rogativas o sortilegios), en cambio el agua que bebe el suelo sí. Además de controlar la erosión, las plantas tendrán una lluvia aparente mayor.

Argumentos de coste, riesgo o encharcamiento contra estas prácticas adecuadamente ejecutadas sólo podrán darse si se está intentando cultivar una ladera incultivable por los efectos a largo plazo. En general son excusas para justificar lo injustificable. A pesar de que a algunos intereses particulares les duela, hay suelos que no se deben cultivar si se quieren mantener.

Hasta aquí se han definido las diferentes capacidades agresivas y defensivas del medio, y sus valores están cuantificados y tabulados, pero se ha hecho intencionadamente con magnitudes tales que puedan combinarse para medir la Fragilidad total.

Para cuantificar la Resistividad del medio en cualquier lugar, se han definido escalas de valores de tal manera que simplemente hay que multiplicar las agresividades y resistividades R, K, LS y CP, en su estado actual o previsto, y compararlos con los mismos valores en su estado potencial o natural. Los valores de estos factores superiores a 1 indican que se trata de un agente agresivo, y las menores de un factor defensivo.

Ejemplo:

***Repoblación de una colina en el Norte de la Meseta, actualmente con un matorral degradado y muy pastoreado, utilizado periódicamente como suelo agrícola, sobre un suelo muy somero que cubre formaciones de areniscas blandas.***

*Su situación potencial sería de encinar o coscojar sobre un suelo profundo en un clima seco continental, con escasa torrencialidad, pero fuertes sequías y riesgos de heladas.*

*Valores potenciales: R 100 / K 0,44 / LS 5,25 / C 0,01*

*Valores actuales: R 100 / K 0,9 a 0,44 / LS 7,25 / C 0,4 a 0,2 (en función de si se rotura o se deja en barbecho para pasto)*

*La erosionabilidad es ahora entre 40 y 55 veces superior a la del equilibrio, y esa diferencia ha producido la práctica desaparición del suelo a pesar de tratarse de una zona de escasa torrencialidad y suficiente pluviometría.*

*Opciones:*

- 1. repoblación con matorral o con pino*
- 2. manual o con maquinaria*
- 3. en línea o en terrazas*

*Por desgracia no es posible parir un hijo en edad de votar sin que haya pasado por las fases de llanto, juegos y rebeldía. Por lo mismo no es posible regenerar con una sola acción un encinar, pues las interrelaciones ecológicas son complejas y se establecen muy lentamente, pero principalmente porque con la tozudez del hombre se ha conseguido la práctica desaparición del suelo (agrícolamente miserable).*

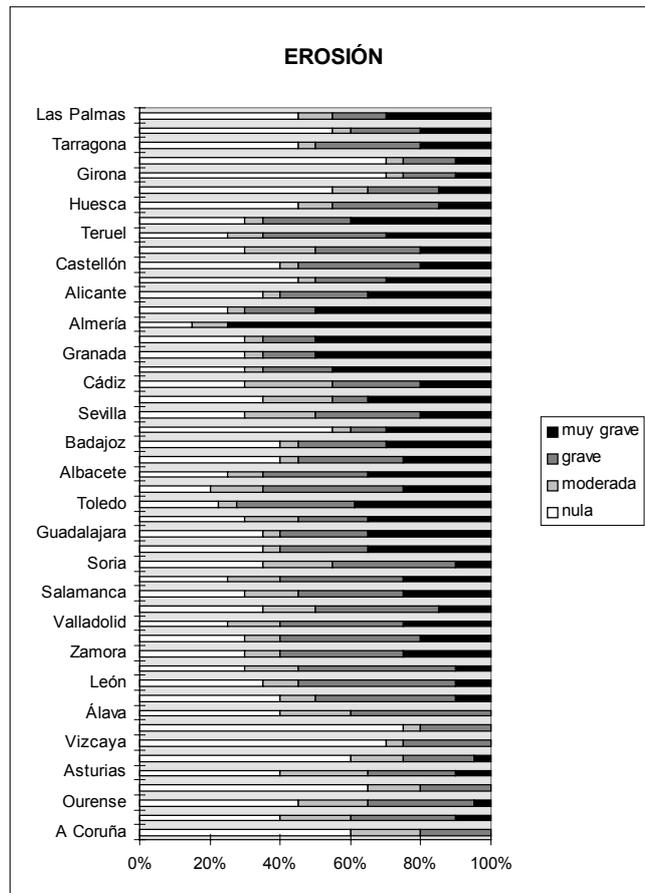
*Las decisiones anteriores estarán condicionadas por el presupuesto, la prisa y los intereses productivos (criterios sociopolíticos), pero como veremos las acciones de recuperación tienden a ser tan drásticas como el estado al que se ha llegado. Todas tienen ventajas e inconvenientes, en los dos extremos:*

- a) *El matorral en siembra o plantación manual, será caro, no productivo y lento para conseguir el objetivo, pues tiene que crearse suelo (por suerte la arenisca es fácilmente disgregable).*
- b) *El pino en repoblación de terrazas, será más barato, productivo a medio plazo y rápido en comparación con el anterior, pues la maquinaria romperá el perfil litológico y aumentará la precipitación aparente, acelerando la creación del suelo y el crecimiento. Sin embargo con ello se consigue una fragilidad adicional por mayor riesgo de incendio, y un importante impacto paisajístico.*

*Consecuencias de la acción: R 100 / K 0,44 / LS 5,25 / C 0,03 a 0,08*

*O sea, disminuir la resistividad a entre 3 y 8 veces la erosionabilidad potencial (menos si hay aterrazado), y entre 7 y 10 veces el riesgo de incendio, que representa haber aumentado entre 5 y 15 veces la resistividad actual. Además se habrá conseguido aumentar la lluvia aparente y la reversibilidad edáfica (sobre todo con terrazas de infiltración).*

La combinación entre la erosionabilidad en equilibrio (con la vegetación natural), y el grado de reducción de la protección de la vegetación (por el hombre), medirá la erosionabilidad real del medio, y por comparación entre ambas, el incremento de fragilidad que la acción humana ha provocado o puede provocar.



Pero la fragilidad se compone no sólo de lo fácil o difícil que sea el reducir la capacidad del medio en defenderse de la erosión, sino además de la velocidad en recuperarse. Ambas son dependientes de las mismas variables: clima, suelo y pendiente, y tienen el mismo efecto: desarrollo de la cobertura vegetal.

Hasta aquí se han descrito y medido las reversibilidades climáticas, edáficas y orográficas, y a diferencia de la agresividad y resistibilidad, el efecto de ellas no es acumulativo, sino que siguen de nuevo la Ley del Mínimo, o sea, **la Reversibilidad de un determinado lugar será la menor de todas ellas**. Así pueden referenciarse los tópicos por zonas (que por supuesto no son aplicables de modo general):

- *En el Norte y Noroeste de España, con un clima lluvioso, escasamente torrencial, sin sequías ni heladas importantes, con suelo profundo y desarrollado, pero en fuerte pendiente, la Reversibilidad será la Orográfica; en otras circunstancias puede ser otra.*
- *En la Meseta peninsular, con clima seco y no torrencial, con apreciables sequías y heladas, y sin fuertes pendientes, donde se ha eliminado por circunstancias históricas la mayor parte de la vegetación de colinas y lomas, y a base de fracasados reintentos con los arados, y permanente presencia de rebaños de corderos, las pérdidas de suelo han llevado a perfiles sin apenas estructura, y la Reversibilidad será la Edáfica; en otras circunstancias puede ser otra.*
- *En las regiones subáridas del Sudeste español, con clima extremo y agresivo, la Reversibilidad será normalmente la Climática.*
- *En la Cuenca Mediterránea, donde confluyen en competencia las diversas fragilidades, en montañas puede ser limitante la orografía, en zonas reiteradamente quemadas y pastoreadas el suelo, y donde no incidan las anteriores las fuertes sequías pueden condicionar que la limitación sea climática.*

En pendientes superiores al 18% y suelos asentados sobre rocas sedimentarias escasamente consolidadas (fácilmente disgregables), la fragilidad definida hasta aquí precisa de un nuevo componente que estime un fenómeno que se da en dichas circunstancias: la erosión remontante, que se manifiesta por la evolución de los regueros que aparecen tras la erosión laminar, a cárcavas y barrancos. En la Península ésta forma de efectividad de la fragilidad está generalizada en zonas de colinas agrícolas de aprovechamiento mixto cultivo-pastoreo.

El proceso es el de siempre: se rotura indiscriminadamente una zona de colinas (por corta del arbolado y matorral o por fuego), las zonas de menor pendiente mantienen un aprovechamiento agrícola estable y las de mayor pendiente se tornan con los años insuficientemente productivas, por lo que son abandonadas. Pero el mismo ganado que se mantiene de los barbechos aprovecha la vegetación que intenta colonizar estas lomas. Si el pastizal así creado no tiene suficiente cobertura del suelo (lo que sucede normalmente con pluviometría inferior a unos 800 mm), la presión constante del ganado impide la regeneración de la vegetación leñosa y se produce un proceso de degradación. En pendientes “agrícolas”, ocasionalmente se sigue roturando con barbechos muy prolongados, y en pendientes “ganaderas” se adapta la cantidad de ganado a la capacidad del barbecho y de los pastizales. La erosión laminar actúa y al transportar los elementos finos del suelo, deja los gruesos y las piedras, que constituyen irregularidades que el agua escurriendo va sorteando por regueros y arrastrando por esos lugares más el suelo, en fases posteriores de erosión, cuando los regueros se van haciendo grandes, se

pueden producir las cárcavas, que van comiendo los terrenos agrícolas llanos situados aguas arriba.

Así en terrenos de roca compacta, la erosión laminar continua hasta la desaparición del suelo y en roca sedimentaria hasta la formación de estas cárcavas.

Para evaluar el grado de desertificación que estos procesos ocasionan, es preciso recurrir a la fotografía aérea y determinar el porcentaje de superficie ocupada por cárcavas y barrancos respecto a la que ocupan los terrenos con pendientes superiores al 18%. Si se dispone de vuelos separados por varios años, es posible medir el avance medio anual.

Existen modelos de cálculo de la capacidad de ejecución de la fragilidad en estos casos, que tan solo a título informativo se incluyen en el *Anexo Erosionabilidad Hídrica*.

Así pues en suelos asentados sobre rocas de elevada disgregabilidad y pendientes fuertes, la capacidad de hacer efectiva la fragilidad debe estimarse no sólo con el incremento de escorrentía que la acción del hombre ha provocado, sino además con el nivel de desarrollo de las cárcavas y barrancos, y su capacidad de evolución potencial.

En climas subáridos, en lugares donde la desertificación ha llegado a extremos en los que la vegetación natural apenas existe (en cualquier clima por insistencia humana puede llegarse a condiciones similares a la aridez, pero con menos tozudez se llega antes en climas subáridos), o en suelos agrícolas en climas secos, a la erosionabilidad hídrica es preciso añadirle el efecto del viento ocupa, que actúa por:

1. **Deflación**, o arrastre y barrido de las partículas sueltas en la superficie
2. **Corrosión**, o abrasión y frotamiento de las partículas arrastradas contra el suelo o rocas

Al tiempo que los norteamericanos en la década de 1930 comenzaron a darse cuenta de los efectos destructivos de la erosión eólica a raíz principalmente de las tormentas de polvo que afectaron a ciudades de la Costa Este, tras la devastación que los colonos y vaqueros habían provocado en el Medio Oeste, en la U.R.S.S. para no ser menos se realizaron numerosos recuentos de los efectos de la erosión eólica con resultados pavorosos: el 90 % de los regadíos de la cuenca del río Zeravshan quedaron inutilizados (más de 90.000 hectáreas), en la región de Astrakhan famosa por su riqueza en pieles, 40.000 ha., en el bajo Dniپر 10.000 ha. de terrenos de cultivo fueron enterradas en sólo 25 años, en la región de Don del 30 al 40 % de los suelos se transformaron en ventisqueros de arena. No existe un recuento mundial preciso, sí numerosos ejemplos como los anteriores en la Pampa argentina, Centro y Sudáfrica, Oriente Medio, Centro de Asia,...

En España, no por ser un problema menor, sino por ser la erosión hídrica todavía más genérica y potente, normalmente se relega y casi olvida. Existen metodologías de estimación cuantitativa de la erosionabilidad eólica, sin embargo su desarrollo científico aplicado a nuestra geografía es escaso.

En zonas áridas donde se den riesgos de desertificación por el agua y el viento al tiempo, la fragilidad total será la suma de ambas. Habrá que acompañar este valor de uno adicional, si además la roca madre del suelo es:

- *Fácilmente disgregable, porcentaje de superficie de pendiente fuerte afectada por erosión en cárcavas (por fotografía aérea) y su avance. Habitual sobre formaciones sedimentarias.*

- *Compacta, porcentaje de superficie con presencia de suelo que la microorografía es capaz de retener (por muestreo sobre fotografía aérea). Habitual sobre formaciones de granitos, calizas kársticas,...*

En cualquier tipo de erosionabilidad cabe hacer una referencia especial al efecto de los incendios en nuestro entorno mediterráneo, pues como hemos visto la eliminación drástica de la vegetación que ello provoca, anula la protección del suelo por la vegetación durante semanas o meses, recuperándose después de las primeras lluvias apreciablemente y regenerándose la cobertura en 1 o 2 décadas. Así al ocurrir la inmensa mayoría de los incendios en Verano, y realizarse las quemas agrícolas y de pastoreo antes del Otoño, cuando vienen las lluvias más torrenciales del año, que se dan en el último trimestre, la reversibilidad de la vegetación es próxima a 1, o sea casi inútil, lo que significa que en ese tiempo la capacidad de degradación se multiplica por decenas e incluso cientos, pudiendo ocurrir en meses la erosión que en otras circunstancias tardaría décadas o siglos.

También es preciso hacer referencia aquí en el incremento de la fragilidad que produce el incremento del riesgo de incendios debido bien a la mayor utilización recreativa del monte, a un estrato arbustivo descuidado o a una mayor sequedad del suelo por circunstancias de sequía extrema. Este incremento es también medible a través de los **Indices de Riesgo**, que consideran:

- *condiciones climáticas, en España desde hace más de 30 años se utiliza el sistema canadiense adaptado a sequías prolongadas y vientos secos, si bien también se está ensayando el criterio australiano más adecuado para estas climatologías, consta de un índice de sequía que indica la posibilidad de ignición del combustible, y un índice de propagación.*

*Precisa de datos diarios de precipitación, temperatura, humedad relativa y velocidad del viento, y el riesgo genérico de un determinado clima puede calcularse aplicando estos índices al Climodiagrama de cada lugar. Su operativa de cálculo puede consultarse en la Monografía 24 del ICONA.*

- *combustibilidad, ya sea intrínseca o porqué vegetan en condiciones de difícil incendio, que en una escala de 1 a 10,*

<b>Especie predominante</b>	<b>Índice de riesgo</b>
Haya, abedul,...	0
Roble, castaño	0
Árboles de ribera	0
Pino negro	0
Encina y alcornoque	1
Pino canario	1
Pino salgareño	1
Eucalipto	2
Pino silvestre	3
Pino piñonero	4
Pino resinero	6
Pino radiata	7
Pino carrasco	7
Matorral y pastizal	10

*(Monografía 24, ICONA)*

- *causalidad (proximidad a una escombrera, carretera o área recreativa, quemas de rastrojos o pastizales, etc...)*

Un ecosistema, igual que un organismo, nace, crece, madura y muere. El considerar esta circunstancia es de gran importancia para explicar porqué la explotación de los recursos naturales de un modo planificado no tiene porqué ser malo para el ecosistema (y es estrictamente bueno si eliminamos la opción de nuestro suicidio colectivo). De hecho una infraexplotación del bosque da lugar a la acumulación de residuos, ocupación de espacio, intercepción de energía, distribución no óptima de los nutrientes para la productividad del medio (vejez), y por tanto la aparición de mecanismos de control que rejuvenecen el sistema, iniciando una nueva etapa evolutiva: plagas e incendios. Si explotamos al nivel adecuado el bosque (producción constante y extracción equivalente al crecimiento, o sea posibilidad), la necesidad de rejuvenecimiento del ecosistema es menor, y también mejor el riesgo de enfermedades e incendios.

A pesar de disponer así de una forma de cuantificar la fragilidad de un biotopo, es preciso diferenciar la erosionabilidad de la erosión neta, pues no todo lo que se erosiona se transporta a una distancia suficiente para que signifique una pérdida de productividad de un determinado ecosistema, y aunque sea así puede compensarse con la sedimentación de erosiones producidas pendiente arriba. Es necesario estimar la capacidad de hacer efectiva la fragilidad, cuantificando la capacidad de transporte del elemento que se encargue de ello: agua o viento.

Debemos considerar a partir de aquí un concepto nuevo: la **fragilidad efectiva** (una cosa es que tengamos muchas probabilidades de alcanzar la esterilidad, y otra es además llegar a conseguirlo).

La desertización en España no es una africanización: ni habrá oasis, ni camellos, ni arena, ni dejará de llover; simplemente es un desperdicio irreversible de las capacidades productivas de medio país, tanto para el territorio, como para el bolsillo.

*El Día Mundial contra la Desertización es el 18 de Junio.*

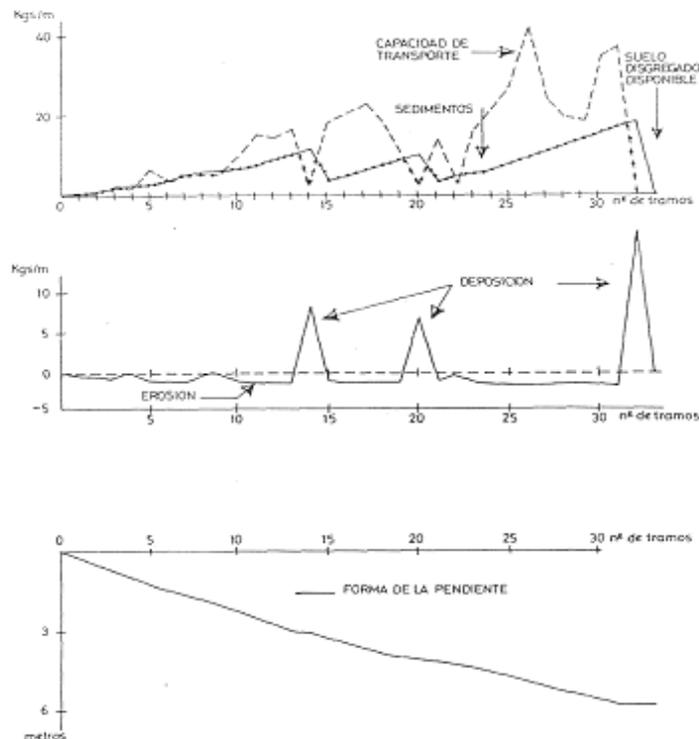
## EROSIÓN Y SEDIMENTACIÓN

Los procesos degenerativos del suelo son en su mayor parte recuperables, excepto el movimiento del mismo, superficial o interno, a causa de la reducción de la protección del suelo, que si es importante, es irreversible a escala de tiempo humana. Pero la erosión, para ser efectiva, necesita un transporte del suelo superior a su depósito, disminuyendo la capacidad de producción del biotopo donde se produce erosión neta en un grado tal que la cantidad de suelo disponible para las raíces sea insuficiente.

De lograrse la esterilidad, o sea de hacerse efectiva la fragilidad edáfica o erosionabilidad, la pérdida de suelo es el principal motivo de la desertización.

El suelo como tal no es soluble, sino que como hemos visto es un complejo con fases disuelta, coloidal y sólida, que necesita un vehículo de transporte para erosionarse. Los propios agentes que arrancan (erosionan) el suelo, lo transportan, y estos son: agua y viento. En nuestro entorno, el elemento crítico es el agua.

En función del suelo, la pendiente y la vegetación, variará punto a punto el caudal que genera la lluvia, y por tanto la capacidad de transporte, (cuanta más agua y a más velocidad baje, más energía cinética, y por tanto más fuerza de arrastre). En unos lugares se producirá erosión neta y en otros sedimentación neta, con toda la gama intermedia de posibilidades. Existen modelos de simulación de esta dinámica que se exponen en el *Anexo Transporte de Materiales*, que dan resultados del tipo:



Resultados en una ladera de 90 metros con intensidad de la lluvia 50,8 mm/h (López Cadenas y Blanco Criado, 1977)

Si en el capítulo anterior se estimaba la erosión en función de sus variables genéticas, en éste se intentará cuantificar la capacidad de transporte o energía cinética de la escorrentía (que depende de su masa, o cantidad de agua, y de su velocidad, en función de la pendiente y del rozamiento y obstáculos), y los efectos de su modificación en la reversibilidad (vigor vegetativo).

Comenzaremos por analizar los diferentes componentes en los que se distribuye la precipitación al llegar al suelo y su medida, con el fin de conocer cual es la capacidad del vehículo que hace efectiva la erosión. Para ello se partirá de la ecuación básica del ciclo del agua, que por analogía con los balances económicos, puede expresarse como un **Balance Hídrico**:

<u><i>ACTIVO</i></u>	<u><i>PASIVO</i></u>
<i><b>Precipitación</b></i>	<i><b>Evapotranspiración</b></i>
<i>lluvia</i>	<i>evaporación</i>
<i>granizo</i>	<i>transpiración</i>
<i>nieve</i>	<i><b>Intercepción</b></i>
<i><b>Condensación</b></i>	<i>hielo</i>
<i>rocío</i>	<i>nieve</i>
<i>escarcha</i>	<i>vegetal</i>
<i>niebla</i>	<i>microrográfica</i>
	<i>hídrica</i>
	<i><b>Infiltración</b></i>
	<i><b>Escorrentía</b></i>
	<i>hipodérmica</i>
	<i>subterránea</i>
	<i>superficial</i>

Como en cualquier balance económico, se debe referir a un ente aislado y cerrado, que en nuestro caso lo definiremos como la unidad hidrológica o **Cuenca Vertiente**, (extensión geográfica donde toda el agua que cae se concentra en un punto de desagüe), y en ella debe cumplirse que ambas columnas tienen que cuadrar. Así, siguiendo con la analogía:

- **El activo es la inversión**, que en función de como se reparta producirá beneficios o pérdidas:
  - La condensación será un aporte beneficioso si no va acompañado de heladas prolongadas, aunque a efectos de desertificación no tiene implicación salvo por la reversibilidad climática y para conseguir el cuadro del balance hídrico.

- El granizo será una pérdida por el daño que produce en la vegetación, si bien tampoco tiene efectos marcadamente distintos a los de la lluvia para la degradación.
- La lluvia tiene una doble componente, beneficiosa por ser imprescindible para el desarrollo de los ecosistemas, y perjudicial al ser el agente que arranca y transporta el suelo que la vegetación se ha dejado “robar”. El que sea una cosa u otra dependerá de la aptitudes de la cubierta vegetal en impedir el arranque del suelo y de su dosificación, o sea de la adecuación de su distribución a la capacidad del medio para aprovecharla:
  - el medio tiene una capacidad de intercepción, y el suelo una velocidad de infiltración limitadas, si la distribución de intensidades de la precipitación (torrencialidad) supera a esta capacidad, el excedente drena aún sin quedar el suelo saturado, y se utiliza como medio de transporte del material erosionado, (si la vegetación no ha sido capaz de protegerlo).
  - si la torrencialidad por el contrario es baja, se llega a la sobresaturación del suelo y se encharca, impidiendo la respiración de las raíces, que en caso de prolongarse puede llegar a ser letal para las plantas.
- La nieve no tiene energía cinética suficiente para arrancar el suelo, pero al ser la capacidad de transporte del agua directamente proporcional al caudal, al derretirse puede ayudar a la anterior a transportar los coloides del suelo arrancados por las gotas de lluvia.

- **El pasivo es el aprovechamiento de la inversión:**

- La **Evapotranspiración** es en realidad un concepto formal sumatorio de la **evaporación** directa del agua (secado), y la **transpiración** de las plantas para la distribución de los nutrientes en toda la altura. La evaporación es una inevitable inversión “desaprovechada”, (en agua). Sin embargo se consideran formalmente juntas al disponer de procedimientos de medida que no los diferencian. A efectos de arranque y transporte del suelo este componente no tiene más aplicación que participar en el balance hídrico y por tanto necesario para el cuadro.

*Molchanov*, en 1963 publicaba sus medidas medias en bosques de diferente edad durante un periodo de entre 4 y 6 años, en similares condiciones climáticas (entre 500 y 600 mm anuales), resultando que la evapotranspiración representaba entre el 45 y el 79 % de la precipitación recibida, en la siguiente tabla indicadas transpiración y evaporación en porcentaje por separado:

Bosque	20 años	40 años	60 años	80 años	100 años
Pinar	43 + 9	45 + 12	36 + 16	33 + 18	31 + 18
Abetos	35 + 10	53 + 9	52 + 9	48 + 10	40 + 10
Robledal	59 + 12	65 + 15	67 + 16	62 + 17	55 + 18
Fresneda	47 + 14	52 + 17	46 + 19	37 + 19	-

- La **Intercepción** es agua que ya sea por su estado (hielo o nieve), como por su localización (charcos), pasará a aprovecharse en forma de infiltración o a desaprovecharse por evaporación.

En el referido experimento de *Molchanov*, también se tomaron las medidas de la intercepción de la lluvia, que en porcentaje fueron:

Bosque	20 años	40 años	60 años	80 años	100 años
Pinar	23	27	25	25	22
Abetos	10	9	9	10	10
Robledal	12	15	16	17	18
Fresneda	14	17	19	13	-

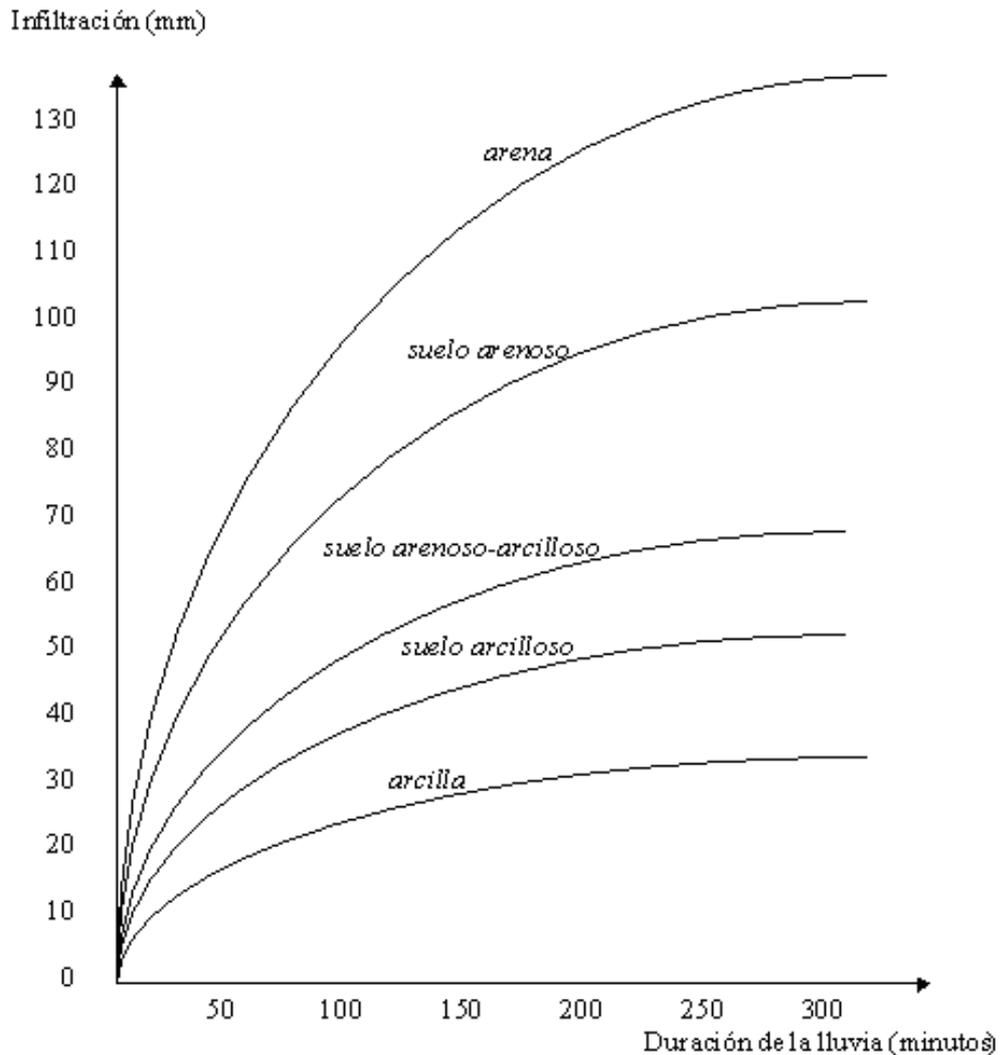
*Boldacov*, estudió la distribución de la intercepción de una precipitación en diferentes circunstancias, según la cantidad de agua que moja a las plantas, el suelo (microdepresiones) o se encharca. Como primero moja, después infiltra y lo que sobra escurre, es un indicativo del mínimo nivel de lluvia necesario para que se mueva el agua:

Ocupación	vegetación (mm)	suelo (mm)	charcos (mm)
Roca, hormigón, asfalto	1	1	2
Caminos, suelos muy degradados	1	2	3
Cultivos siguiendo la pendiente	1-2	2-3	3-5
Cultivos siguiendo las curvas de nivel	2-5	4-6	6-11
Viñedos	3-4	3-6	6-10
Frutales	3-6	4-7	7-13
Pastizal degradado	1-2	3-4	4-6
Pastizal regresivo	2-3	4-5	6-8
Pastizal natural de calidad media	3-4	4-6	7-10
Pastizal natural de buena calidad	4-6	5-6	11-12
Bosque joven y claro (< 60% de cobertura)	3-5	4-6	7-11
Bosque joven entre 60 y 70 % de cobertura	4-8	6-7	10-15
Bosque joven espeso	6-10	7-8	13-18
Bosque degradado o dehesa	4-8	5-6	9-14
Bosque claro del 60% de cobertura	5-9	6-7	11-16
Bosque con el 80 % de cobertura	7-11	7-8	14-19
Bosque maduro y espeso	8-12	8-9	16-21

Lo que indica que si comparamos el comienzo de los escurrimientos en un suelo desertizado y un bosque espeso, en el primer caso con una lluvia de a partir de 6 mm ya habrá capacidad de movimiento superficial, y en el segundo se precisará una lluvia de hasta 8 veces superior para ello, lo que abarca normalmente cualquier precipitación ordinaria. O sea, en un suelo degradado en pendiente con una precipitación normal no sólo se desaprovecha parte de la lluvia, sino que además se crean condiciones para el arrastre del suelo y la esorrentía, y en cambio en el mismo suelo en su

clímax, es posible que ello sólo se dé en circunstancias extraordinarias, y aún así con una “bajada de bandera” mucho mayor. Se necesitará que llueva hasta 8 veces más para que el efecto sea el mismo (lluvia aparente para las personas).

- La **Infiltración** es el agua que pasa al suelo, y puede entenderse ya sea la únicamente la que queda de forma estable en el complejo coloidal, o la que se escurre bien interiormente ladera abajo o bien al subsuelo. En esta exposición, y para ceñirnos a una sola componente del ciclo hidrológico hemos incluido estos dos últimos casos en la escorrentía: hipodérmica y subterránea, pues con el tiempo unas se convierten en otras.

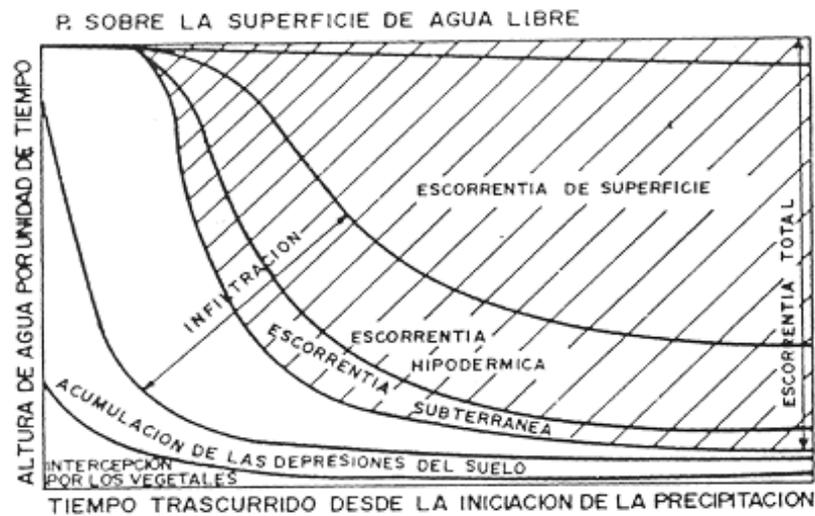


El agua que queda en el suelo, a su vez es evaporada o absorbida por las plantas y por tanto en parte, transpirada.

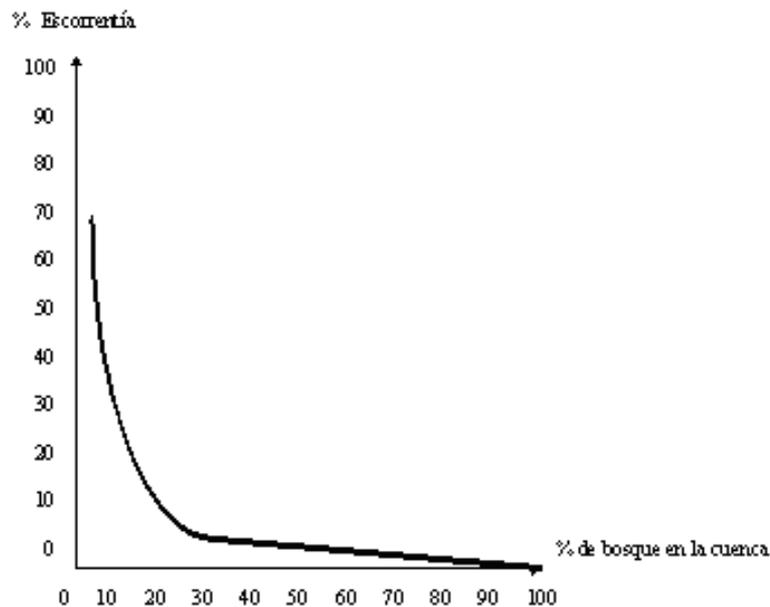
- La **Escorrentía** es el excedente de agua, la que en principio no se utiliza, que también puede ser beneficiosa pues los ríos crean riqueza ecológica, paisajística y productiva; o perjudicial, en función de como “cuide” la vegetación al suelo y de su dosificación. Puede producir como efectos no deseables:

1. transporte del suelo erosionado (escorrentía superficial)

- lavado de nutrientes (el agua que drena por el suelo gravitacionalmente no es aprovechable para las raíces)



Lo que diferencia a la escorrentía es su regularidad, será tanto más peligrosa cuanto más irregular en cantidad y tiempo, y será más irregular según el clima, cuanto menor sea el desarrollo de la vegetación y mayor la pendiente.



*O sea, cuanto menos bosque hay, mayor es la escorrentía y por tanto mayor la capacidad de arrastre de lo erosionado y menor la lluvia aparente, por lo que para que se regenere el bosque a una velocidad que importe al menos a nuestros nietos, deberá llover a partir de entonces y hasta que estén ya crecidos, más de lo normal (suponiendo que queda suelo suficiente, que si no es peor), y eso es difícil que suceda.*

Es fácil acusar al cielo de la falta o sobra de agua, pero es perverso. Al cielo se le puede acusar de que llueva poco o mucho, bien o mal, pero no de que las consecuencias de la lluvia sean buenas o malas respecto a una situación equivalente en equilibrio natural. Modificando la vegetación en las laderas, cambiamos la distribución del agua en el medio, después no es justo acusar a la lluvia de que el reequilibrio que provocamos

vaya en contra nuestra, y no sólo es así, sino que además cuando se esgrime la excusa de las inclemencias meteorológicas, pertinaces sequías, Cambios Climáticos, Niños y Niñas, tiempo loco, o situaciones récord, se conceden créditos, ayudas,... para paliar daños que se han ganado a pulso, y que poco tienen que ver con la lluvia, como el que te atropelle un coche depende y no depende de que hayan coches.

Así, interesa de la dinámica del agua medir la puesta en disponibilidad para las plantas, y la agresividad de la escorrentía, o sea de los excedentes, que en buena parte son la lluvia aparente para las personas, en cuanto a su capacidad de transportar suelo aguas abajo (agua sucia, ríos de color ocre, barro,...). Cualquier actuación que modifique la precipitación aparente en equilibrio natural, y la regularidad de salida de los excedentes deberá ser evaluada en términos de productividad a largo plazo.

En una ladera la modificación de la cobertura vegetal producirá un cambio en la escorrentía, y por tanto un descuadre en el balance hídrico que se compensará inevitablemente cambiando también lo que creen las plantas que llueve. En suelo llano por suerte no, y gracias a ello existe la agricultura estable y podemos ser tantos en el Mundo.

En la cuantificación del grado de desertización de un ecosistema, podemos definir según la metodología expuesta en el *Anexo Transporte del Suelo*, en valores medios anuales absolutos ( $m^3$  o  $Tm$ ) o relativos (%), la influencia de la acción humana en:

- *caudal sólido*
- *erosión efectiva en cada punto geográfico ( $Tm/m^2$ )*
- *materiales exportados de una cuenca ( $Tm$ )*
- *caudal líquido*
- *pluviometría aparente en cada punto geográfico ( $mm/m^2$ )*
- *caudal en el cauce de salida de la cuenca ( $m^3/sg$ )*

Pero se ha reiterado que en el equilibrio natural con la vegetación climática, existe estabilidad, y por tanto escorrentía y precipitación aparente son los necesarios para la vegetación potencial que pueda existir, y lo que es más, para que la producción de suelo sea al menos igual a su arrastre. Tenemos pues un modo de estimar en que medida se está creando suelo en una cuenca, pues con lo anterior se puede conocer la cantidad de materiales que están saliendo con la escorrentía como vehículo en una situación de vegetación óptima. La velocidad de génesis edáfica la modifica el hombre menos que la de arrastre. Calculando la erosión en un supuesto de capacidad, dispondremos de la velocidad de génesis edáfica.

Al igual que en otros capítulos cabe aquí una especial referencia al efecto de los incendios en la capacidad de transporte de materiales, o efectividad de la erosión, pues al primero eliminarse, y más tarde regenerarse durante años la cobertura vegetal hasta alcanzar el grado de cobertura paraclimático (caso de existir un aprovechamiento permanente), o climático, la escorrentía se incrementa drásticamente durante meses, y tarda décadas en recuperarse.

Con todo lo expuesto surge una consecuencia inmediata de tremenda importancia, que nos lleva de considerar la desertización como efecto de unas causas, a tenerla como causa de un importante efecto secundario: **la desertificación es causa de inundaciones**. Si como consecuencia de una inadecuada explotación, se reduce la capacidad de la

vegetación en dosificar el agua en las laderas que rodean los emplazamientos humanos, se disminuye la precipitación aparente para las plantas y en consecuencia se aumenta la escorrentía respecto al equilibrio natural, entonces evidentemente bastará que llueva menos para que los hombres que viven en la confluencia de las escorrentías creen que llueva más, pues para conseguir la misma escorrentía en el equilibrio así se precisaría.

Si sobreexplotando las laderas se consigue que la escorrentía se multiplique por 2, 3, 4 o 5 (valores nada extraños, según puede observarse en las tablas incluidas en el *Anexo Transporte de Suelos*), lógicamente para conseguir el mismo efecto en caudal bastará que llueva un día 1/2, 1/3, 1/4 o 1/5 de lo normal, y será preciso además que llueva más para conseguir que la lluvia aparente para las plantas se doble, triplique, cuadriplique o quintuple, y eso sabemos que no sucede habitualmente de un modo permanente.

Pero por si ello no fuera suficiente, sucede además que la acción humana sobre las laderas que rodean nuestros entornos de vida, al modificar la cobertura de la vegetación de forma diferente a lo largo y ancho de la geografía, también se cambia el tiempo en que una escorrentía llega a un determinado lugar de interés humano. Si además de conseguir aumentar la escorrentía, se reduce el tiempo de concentración de ese agua en un punto como consecuencia de la falta de impedimentos para el agua en bajar, sube la probabilidad de que confluyan diferentes caudales punta de distintos lugares en el mismo momento, produciendo unos máximos históricos que sólo serían posibles con precipitaciones equivalentes en el equilibrio natural con las muy extraordinarias.

Después la explicación fácil e incorrecta es: *se ha producido una inundación que ni los más ancianos recuerdan, porque ha llovido más que nunca*. Normalmente es mentira, simplemente cuanto más se degrade el suelo, más probable será que se bata el siguiente récord en menos tiempo.

Disponemos así de los criterios de estimación del riesgo de desertificación e incluso de la capacidad de ejecutarla, sin embargo ello no es suficiente para medir el grado de desertización que se ha provocado. Es preciso poder calcular la pérdida de productividad que ello ocasiona para justificar o no la explotación de los recursos naturales en un determinado modo y grado.

El objetivo es el disponer de información para conocer si es rentable a largo plazo un aprovechamiento que tal vez lo sea a corto, y si no es así adecuar el aprovechamiento inmediato para que se establezca la producción o el uso.

Parecerá una perogrullada, pero si se ha conseguido explicar bien se entiende enseguida que no lo es: *Las fuentes no se secan por falta de lluvia, sino por falta de agua*.

## GRADO DE DESERTIZACION

Hemos descrito los procesos de desertización (disminución irreversible a escala humana de la capacidad del suelo, o **esterilización**) y con mayor detalle los de desertificación (desertización por la acción del hombre), y se ha descrito como medir la fragilidad en cada punto geográfico y definido índices que resuman cuantitativamente los efectos en un sistema hidrológico cerrado (cuenca hidrográfica).

También hemos insistido en que el factor limitante para los procesos de desertificación en nuestro entorno mediterráneo es la erosión neta, dado que los incrementos de fragilidad por aumento de la transpiración de las plantas que pudiera causar un cambio del régimen termométrico (aumento de la transpiración), es de un orden de magnitud despreciable frente a la posible extremización del régimen pluviométrico, y frente al déficit hídrico que produce un incremento de la escorrentía por reducción del papel dosificador del agua del suelo y de la vegetación (lluvia aparente); y a su vez, la variación de la fragilidad que estas circunstancias provocan, es de un orden de magnitud menor que la erosionabilidad por reducción de la protección del suelo frente a la agresividad del clima.

Del mismo modo se han descrito los procesos de regresión de ecosistemas por empobrecimiento del suelo, incluso en zonas llanas, por la acción directa o indirecta del hombre, que en general no suponen una degradación en tanto el suelo se recupera en plazos de escala humana (salvo arrastre y acumulación de partículas y nutrientes en las capas bajas del suelo y al subsuelo), frente a la degradación que provocan procesos como la salinización y la erosión.

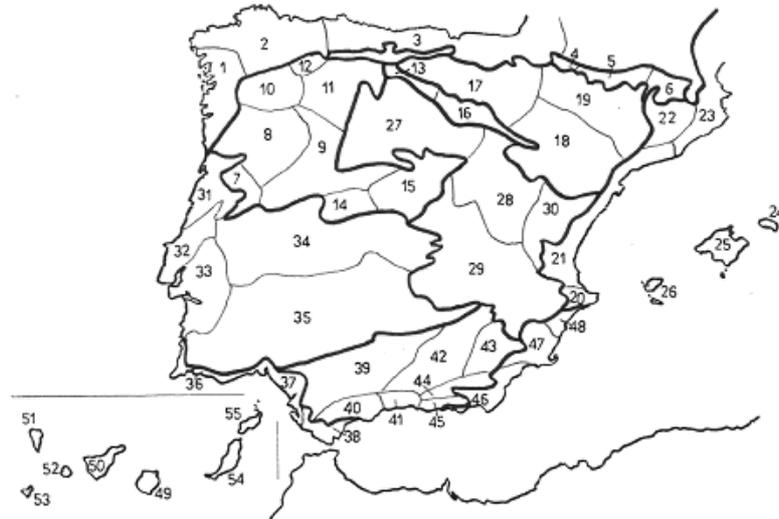
Todo ello es medible y sabemos como hacerlo, pero nos queda describir la consecuencia de la modificación de la fragilidad cuando se ha ejercido su probabilidad, o sea, cuando el riesgo de reequilibrio se ha realizado, o grado de desertización. Es decir, **la pérdida de productividad potencial o capacidad que produce el hacer efectivo un aumento de la fragilidad.**

La modificación de la Capacidad (Productividad Potencial si el hombre no hubiera intervenido jamás, y los ecosistemas fueran maduros), es cuantificable a partir de la comparación entre un estado euclimácico (en equilibrio sin la acción humana), y el real del ecosistema, y para ello es preciso previamente describir el modo de estimar el primero.

La definición del **estado euclimácico** puede tener aspectos subjetivos que es preciso delimitar en base a conocimientos del medio físico (clima, suelo, orografía, exposición,...) y ecológicos (flora, fauna, complejidad de las relaciones,...), y cabe distinguir en función del objetivo y la escala a la que se esté trabajando diferentes criterios:

- Macroclímax, en base a información meteorológica se definen regiones fitoclimáticas de carácter general (considerando que el factor limitante único es el clima), y sus asociaciones vegetales y ecológicas asociadas. Para ello se dispone de la siguiente información básica:
  - Cartografía de vegetación prehistórica, tal como vimos en el tema correspondiente a *Historia Natural*.

- Clasificaciones fitoclimáticas, como la vista en el correspondiente *Anexo Reversibilidad Climática (Allué-Andrade)*, si bien existen otras igualmente válidas.
- Clasificaciones geobotánicas o corológicas, de las que hay diversos estudios en España, como ejemplo y por estar analizada y cartografiada de modo general se incluye la de *Rivas y Martínez (1977)*



1. Galaico portugués	15. Guadarrámico	29. Manchego	43. Guadicianobacense
2. Galaico asturiano	16. Ibérico soriano	30. Maestracense	44. Nevadense
3. Cántabro euskaldún	17. Riojano estellés	31. Beirense litoral	45. Alpujarro gadoreense
4. Pirenaico occidental	18. Bardenas y Monegros	32. Divisorio portugués	46. Almeriense
5. Pirenaico central	19. Montano aragonés	33. Tagano sadense	47. Murciano
6. Pirenaico oriental	20. Valenciano meridional	34. Toledana tagano	48. Alicanteño
7. Estrellense	21. Valenciano tarraquense	35. Mariánica monchiquense	49. Grancanario
8. Lusitano duriense	22. Berguedano penedés	36. Algarviense	50. Tinerfeño
9. Salmantino	23. Vallesano ampurdanés	37. Onubense litoral	51. Palmero
10. Orensano sanabriense	24. Menorquín	38. Gaditano	52. Gomero
11. Maragato leonés	25. Mallorquín	39. Hispaliense	53. Herreño
12. Berciano ancorense	26. Ibicenco	40. Rondeño	54. Majonero
13. Campurriano leonés	27. Castellano duriense	41. Malacitano almijareense	55. Lanzaroteño
14. Bejarano gredense	28. Celtibérico alcarreño	42. Subbético	

- Mesoclimax, subdividiendo las regiones fitoclimáticas anteriores en subregiones considerando otros factores limitantes: altitud, exposición, suelo, pendiente, orografía,... y analizando sobre el terreno los tipos de vegetación y fauna existentes en base a diferentes grados de explotación de los recursos naturales. Para ello puede utilizarse una combinación crítica de diversa información disponible, que simplemente se referencia aquí pues el análisis debe realizarse caso a caso:

- Cartografía temática de suelos, orografía, vegetación, usos y aprovechamientos

- Descripciones fitosociológicas, entre las que cabe destacar a escala mundial las de:
  - *Braun-Blanquet*, la más aplicada en nuestro entorno, con numerosos estudios en España desde 1963
  - *UNESCO*, 1969-73, (escala 1:1.000.000)
  - *Ellenberg*, 1973
- Índices bioclimáticos, recomendable especialmente en ecosistemas forestales los de *Montero de Burgos y González Rebollar*, y aplicaciones de *García Salmerón* en la definición de especies predominantes.

Se basan en climodiagramas en los que además de pluviosidad y temperatura mensual, consideran las variables hídricas de evapotranspiración y la actividad vegetativa de las plantas, o sea, tienen en cuenta la lluvia aparente.

Su descripción se sale de los objetivos de esta exposición y nos remitimos a la bibliografía específica:

*J.L. Montero de Burgos y J.L. González Rebollar, Diagramas Bioclimáticos, ICONA 1974*

- Descripciones ecológicas de las especies, con abundante bibliografía al respecto, pues la presencia o ausencia de determinadas plantas indican características del biotopo determinadas a través del conocimiento de sus valencias
- Microclímax, por comparación de la productividad potencial entre terrenos próximos y de análogas características ecológicas, explotados en diferente grado (considera los factores limitantes locales). Las herramientas de las que disponemos para ello son:
  - Estudios paleontológicos, de análisis de polen, de glaciares,... concretos y locales
  - Muestreo estadístico de campo
  - Fotografía aérea y reconocimiento “in situ”

Con todas o una parte de estas herramientas y algo de experiencia, es posible reconstruir un ecosistema euclimático con el que comparar el actual. Queda pues definir las variables a cuantificar, y que se resumen en:

- ***Variables cuantitativas***
  - **Biomasa**
  - **Productividad** (Posibilidad)

La variable clave es la productividad, pero necesita de la biomasa como valor de referencia. No es correcto comparar talmente productividades de un pastizal y de un bosque, sin referencia a su biomasa.

Como estimación de los valores normales de materia seca *Whittaker y Likens* en 1973, y tras un análisis estadístico, publicaron la siguiente tabla:

	S	P <sub>n</sub>	P <sub>m</sub>	P <sub>t</sub>	F <sub>n</sub>	F <sub>m</sub>	F <sub>t</sub>
Pluvisilvas subtropicales	17,0	1000-3500	2200	37,4	6-80	45	765
Selvas monzónicas	7,5	1000-2500	1600	12,0	6-60	35	260
Pluvisilvas templadas	5,0	600-2500	1300	6,5	6-200	35	175
Bosques planifolios verdes	7,0	600-2500	1200	8,4	6-60	30	210
Bosques aciculifolios	12,0	400-2000	800	9,6	6-40	20	240
Bosques esclerófilos	8,5	250-1200	700	6,0	2-20	6	50
Sabanas	15,0	200-2000	900	13,5	0,2-15	4	60
Estepas templadas	9,0	200-1500	600	5,4	0,2-5	1,6	14
Tundras	8,0	10-400	140	1,1	0,1-3	0,6	5
Semidesiertos y espinales	18,0	10-250	90	1,6	0,1-4	0,7	13
Desiertos y glaciares	24,0	0-10	3	0,07	0-2	0,02	0,5
Tierras cultivadas	14,0	100-3500	650	9,1	0,4-12	1	14
Pantanos y humedales	2,0	800-3500	2000	4,0	3-50	15	30
Ríos y lagos	2,0	100-1500	250	0,5	0-1	0,02	0,05
	S	P <sub>n</sub>	P <sub>m</sub>	P <sub>t</sub>	F <sub>n</sub>	F <sub>m</sub>	F <sub>t</sub>
Oceanos	332,0	2-400	125	41,5	0-0,005	0,00 3	1
Agua profunda ascendente	0,4	400-1000	500	0,2	0,005-0,1	0,02	0,008
Zócalo continental	26,6	200-600	360	9,6	0,001-0,04	0,01	0,27
Arrecifes y algas	0,6	500-4000	2500	1,6	0,04-4	2	1,2
Desembocadura de ríos	1,4	200-3500	1500	2,1	0,01-6	1	1,4

Siendo: S, la superficie mundial en millones de Km<sup>2</sup>  
P<sub>n</sub>, la productividad primaria neta normal en gr / m<sup>2</sup> y año  
P<sub>m</sub>, la productividad primaria neta media en gr / m<sup>2</sup> y año  
P<sub>t</sub>, la productividad primaria neta mundial en billardos de toneladas / año  
F<sub>n</sub>, la fitomasa normal en Kg / m<sup>2</sup>  
F<sub>m</sub>, la fitomasa media en Kg / m<sup>2</sup>  
F<sub>t</sub>, la fitomasa mundial en millardos de toneladas

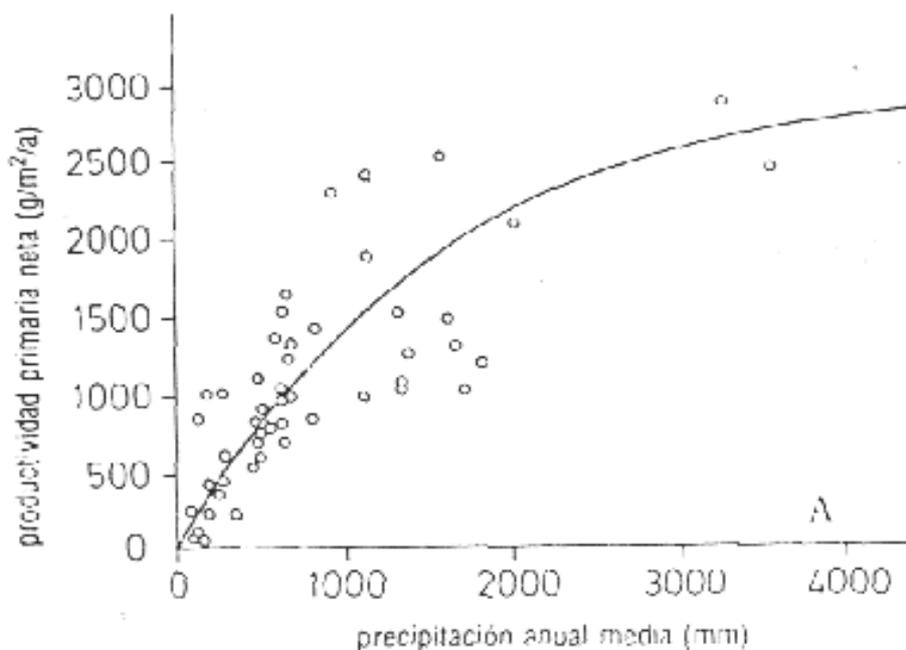
En nuestro entorno, *Margaleff* en 1974, presentó valores más concretos, expresados en carbono de la materia seca:

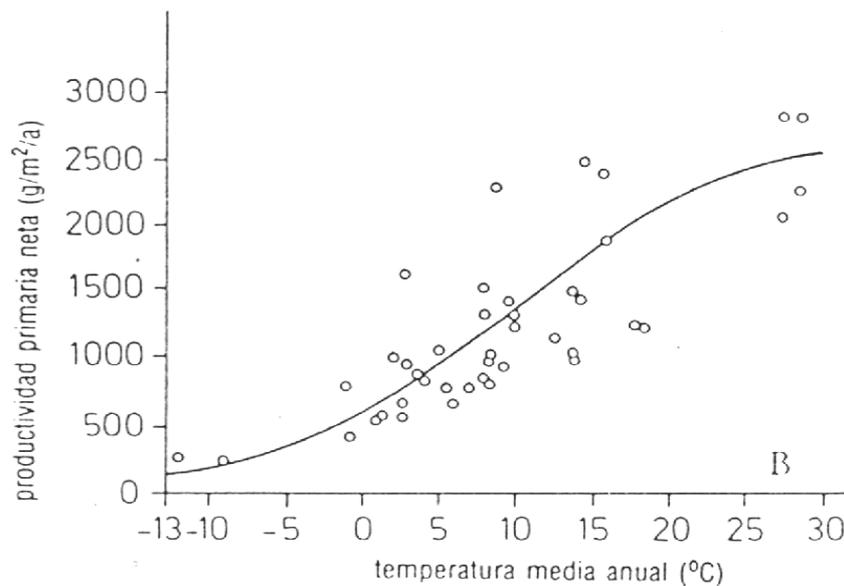
Formación	Producción (gr de C / m <sup>2</sup> y año)	Biomasa (gr de C / m <sup>2</sup> )
Bosques esclerófilos	220/280	5.000/11.000
Bosques de coníferas	150/600	1.000/8.000
Bosques caducifolios	150/604	2.500/11.000
Garriga	50	>440
Matorrales áridos	15	40/700
Turberas	40/60	60/300
Estepas y praderas	25/350	100/500
Pastos	220/740	150/700
Vegetación ruderal	110/300	150/300

(1 gr de peso seco, equivale a 2,48 gr de carbono en peso seco)

Su determinación en cada caso se realiza por muestreo, que como en otras ocasiones, es recomendable sea sistemático estratificado, para lo que previamente hay que hacer una división en estratos homogéneos en cuanto al nivel de regresión y/o degradación en base a: clima, suelo, orografía, vegetación, usos,... (o sea, con los mismos criterios de toda esta metodología).

Pero ésta operativa es cara, y por tanto poco útil, pues difícilmente se obtendrán presupuestos para análisis concretos, por lo que es preciso establecer relaciones entre las variables condicionantes y limitantes, o sea, de nuevo modelos de simulación. A título orientativo *Lieth* en 1975 proponía relaciones entre la productividad y la precipitación y temperaturas medias, en el supuesto de no existir otros factores limitantes.





(Lieth, 1975)

Un marco de las diferencias entre productividades naturales de productos similares en lugares diferentes, donde se deben mover los resultados de la aplicación de un modelo, lo proporcionan estadísticas de posibilidad y renta económica, editadas por diferentes organismos oficiales y privados, a nivel nacional, autónomo, provincial e incluso puntualmente en explotaciones concretas.

- Agraria, las producciones son muy variables geográficamente en España, por lo que es recomendable la consulta de información publicada al respecto a escala suficiente, y es particularmente útil para ello el *Mapa de Cultivos y Aprovechamientos* del *Ministerio de Agricultura* editado a escala 1:50.000, y el *Censo Agrario* por provincias, de cíclica revisión y cuya última publicación es de 1989.
- Forestal, crecimiento medio anual del arbolado, los valores normales en masas ordenadas para la producción por recopilación de varios autores, son:

	m <sup>3</sup> /ha y año
pino silvestre	4/4,5
pino canario, negro y salgareño	2/3
pino resinero	3/10
pino piñonero y carrasco	2/6
pino radiata	13/25
ciprés	0,2/3
haya	4/5
castaño	1/5

quercíneas	0,1/1,5
chopo	15/40
eucalipto	3/20

---

Ello puede ser útil en tanto no se comparen churras con merinas, es decir, la biomasa y productividad entre dos explotaciones del mismo producto con similares técnicas, aunque en diferentes biotopos y estados regresivos.

En el *Inventario Forestal Nacional II*, publicado por *ICONA* en cada provincia (1995), se puede conseguir información más detallada a escala temática 1:50.000, si bien por comodidad de manejo se ha editado a escala topográfica 1:250.000:

- *Especies vegetales dominantes*
- *Cobertura del suelo por la vegetación*
- *Estado cualitativo de las masas forestales*
- *Tarifas (modelos simples de simulación), que relacionan:*
  - *diámetro de la especie dominante*
  - *altura*
  - *volumen*
  - *crecimiento*
- *Posibilidad*

Para llegar a un planteamiento útil de estos conceptos, en base a la información estadística recopilada sobre biomasa y productividad, se construyeron modelos de simulación causa-efecto, por los que con las variables del biotopo. Pueden deducirse indirectamente las productividades esperadas sin previo muestreo directo, del mismo modo que sucedía en la cuantificación de la fragilidad y su realización. En el *Anexo Productividad Natural*, se describen:

- **Métodos positivos**, que a partir de información del biotopo infieren la productividad potencial máxima:

*Gandullo y Serrada*, editaron la *Productividad Forestal Potencial para España 1:1.000.000*, *INIA* 1977, donde se cartografiaba, con los criterios de *Patterson*, el territorio ibérico. Los resultados indican en m<sup>3</sup>/ha y año tan solo la producción maderera esperada, por supuesto entendida como la que se mantiene a largo plazo a través de la Ordenación Forestal.

- **Métodos negativos**, que a partir de la consideración de una productividad potencial máxima indeterminada (100 %), definen en que medida cada factor condicionante o limitante afecta a la productividad real:

Metodología de la *FAO* (1970) para cultivos, pastos, frutales y bosque, considerando los factores limitativos:

1. humedad del suelo

2. capacidad de drenaje
3. profundidad
4. permeabilidad
5. fertilidad
6. materia orgánica
7. salinidad
8. iluviación en capas profundas del suelo
9. reserva de nutrientes en capas profundas del suelo

De las variables consideradas nótese la diferente reversibilidad de cada una, pues si bien todas miden su influencia en la capacidad, el valor degradativo (respecto a la capacidad de regeneración), es distinto en cada caso. Así, la reducción de la profundidad del suelo debida a la erosión y en menor medida la variación del agua retenida y la iluviación, son los factores más degradativos de la productividad en el término definido para este concepto de incapacidad de recuperación a escala humana, y todos son debidos directamente a una degradación de la capacidad protectora y dosificadora del ecosistema. La pérdida de productividad media por la erosión de 1 cm de suelo es de casi un 10%, **irrecuperable**.

Otros factores de la productividad son más o menos reversibles a escala humana, ya sea como respuesta natural del ecosistema, o como consecuencia de prácticas prácticas de explotación intensiva o de mejora posibles.

Los valores de posibilidad obtenidos son porcentajes respecto al óptimo y considera los siguientes rangos:

	clase	P (%)	Vocación
I	excelente	65-100	Agrícola
II	buena	35-64	Pasto
III	media	20-34	forestal
IV	pobre	8-19	Protectora
V	nula	0-7	Paisajística

Esta metodología está descrita en el *Anexo Productividad Natural*.

- **Variables cualitativas**

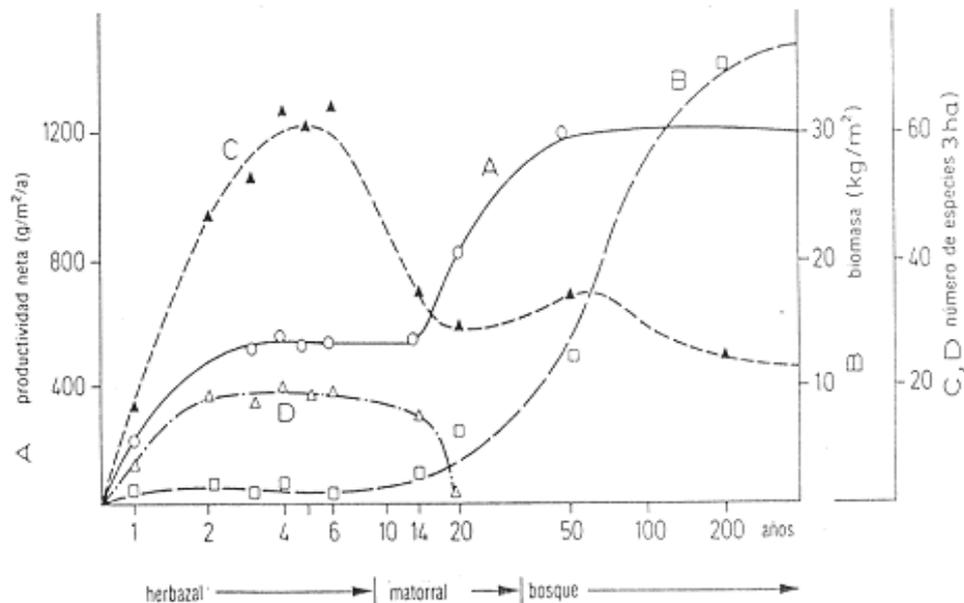
El que sean aspectos cualitativos no debe ser excusa para obviar su medición (estimación), para extraerlo del campo de la opinión y llevarlo al de la gestión, aunque precise de cierta subjetividad:

- 1. Biodiversidad**, o valor de la diversidad.

Interesa medir el valor, no la vulgar cantidad de especies representadas en unidad de superficie (por desgracia parámetro hoy muy de moda, e inútil), y dicho valor no puede ser más que relativo (comparativo) entre biodiversidades:

- Dentro de una misma serie progresiva o regresiva: a mayor **biomasa**, y por tanto productividad, mayor madurez y valor de su diversidad, o sea biodiversidad, siempre y cuando no exista intervención humana (abonos, riegos, arado, siembra, pasto, repoblación, ordenación selvícola,...).

Así, sin intervención humana, productividad y biodiversidad están directamente relacionadas, y con medir la primera, estimamos la segunda (al menos en términos relativos). Veamos un ejemplo:



Reforestación de un terreno abandonado en la zona templada (América del Norte, Brookhaven, Nueva York). A los 8 años las plantas herbáceas son reemplazadas por matorral verde en verano, al que siguen aproximadamente a los 30 años, bosques mixtos que se estabilizan (reduciendo su fragilidad) después de unos 150 años, en forma de clímax con robles y pinos. Biomasa, productividad neta primaria y biodiversidad climática aumentan con los años, a costa de una reducción del número y abundancia de especies herbáceas y colonizadoras. (Holt y Woodwell, de Whittaker, 1975)

Con la simple y barata cuantificación de la biomasa, son comparables valores de diversidades en una fase *colonizadora*, de relaciones interespecíficas más simples; con la complejidad de relación entre poblaciones de un ecosistema climático, normalmente de menor diversidad unitaria y sin embargo mayor valor.

- Entre ecosistemas pertenecientes a series diferentes, o incluso siendo de la misma progresión o regresión cuando hay intervención humana externa, no puede utilizarse la biomasa como cuantificador de la biodiversidad, pero sí como valor de referencia. En éste segundo caso además de la biomasa, deberemos muestrear las **subvariables del valor** en un nivel taxonómico adecuado a la escala a la que se esté trabajando, y definir también un muestreo estadístico estratificado a través de reconocimiento y conteo.

La estratificación del muestreo debe realizarse, como siempre, con criterio de optimizar la relación entre homogeneidad del estrato y número de estratos, y en cada punto de muestreo hay que referenciar información de la biocenosis y especies presentes:

- *diversidad*
- *abundancia*
- *rareza*
- *tasa (reproductora y de mortandad)*
- *fragilidad*
- *amplitud (de valencia ecológica)*
- *etc..*

Las variables principales de cuantificación de la biodiversidad son en realidad el doble, pues se deben aplicar en cada especie respecto al ecosistema en el que viven, y en cada ecosistema diferenciado respecto al conjunto de biotopos en el que se encuentra.

El criterio de medida de éstas variables será a ser posible relativo a una situación euclimática, y como tal necesariamente subjetiva, aunque cuanto más información se disponga de dicho clímax estimado, más objetivos serán dichos índices, expresados normalmente en % respecto a su valor en el clímax.

Se han hecho intentos de simplificar estos índices en uno que los resuma, sin embargo no existe un criterio comúnmente aceptado de ponderación entre las subvariables. Un investigador extremeño defiende la diversidad de sus dehesas (un sistema productivo fuertemente antropomorfizado), con criterios de ponderación contruidos en su conocimiento del lugar; que no coinciden con las distintas subvariables y pesos específicos considerados por otro investigador levantino al analizar un ecosistema colonizador tras un incendio, (además ambos se refieren a distintos estadios de complejidad de relación y madurez en la progresión).

Es de esperar que la evolución de la investigación en este área lleve a una homogeneización de criterios que permita la comparación entre los numerosos estudios que se están realizando. (Ver *Anexo de Biodiversidad*).

Así es sencillo, homogéneo y barato medir la biodiversidad dentro de una misma progresión o regresión natural: cuantificando la biomasa; pero también es lo más interesante a efectos de medir el grado de desertización. Por el contrario es complejo, caro y discutible medir la biodiversidad comparada entre dos series de ecosistemas distintas, dato interesante a efectos de valor, pero tal vez no tanto para definir un grado de desertización, así que sólo si hay presupuesto suficiente será adecuado afrontar los muestreos necesarios, pudiendo en general sólo con la diferencia de biomasa estimar la regresión de la biodiversidad.

Como no podía ser tanta suerte (que lo más interesante sea además lo más simple y barato), ello puede tener la excepción de un medio antropomorfizado en el que introducimos, modificamos y retiramos biomasa, y contra lo que sucede en la evolución natural, cuanto mayor productividad, normalmente menor biodiversidad: cultivos, prados y pastizales, bosques en uso sostenible,... En cuyo caso no nos queda más remedio que evaluar la modificación de la biodiversidad a través de muestreo estadístico.

**2. Producción**, medible en dinero con procedimientos estadísticos bien conocidos. Interesa:

- **Tasa económica**, cuantificable en el análisis de la evolución de la rentabilidad a largo plazo, siempre bajo el supuesto de sostenibilidad.

La sostenibilidad implica que la medida de la rentabilidad se supone sin prácticas agresivas: incendio y corta indiscriminada de madera, sobreexplotación de pastizales en suelos degradados, fertilización química y riego a manta,...

- **Interés social**, cuantificable en el análisis del coste de inversión sustitutivo de las ventajas en puestos de trabajo, estabilidad geográfica, cultural, laboral, social,...

Por desgracia el análisis de la realidad de las situaciones hace que las producciones analizadas sean generalmente difíciles por no ser sostenibles, y ser contradictorias la estabilidad geográfica y cultural, con la laboral y social, o sea, aunque suene mal la realidad de nuestro bucólico campo es amenudo resumible en que en explotaciones no sostenibles es donde el círculo de la miseria se mantiene más arraigado.

**3. Valor**, íntimamente relacionado con el anterior, y por tanto medible tan solo en cuanto al valor extrínseco que le da su utilización social (el valor intrínseco es el que miden los índices anteriores), y por tanto necesita de la opinión social para ser cuantificado.

- **paisajístico**, existen metodologías específicas de definición y evaluación de la calidad paisajística, y su descripción se sale del objetivo de esta exposición. Las metodologías de valoración se basan en la definición de:

- *cuencas visuales (desde miradores, carreteras, núcleos urbanos, ...)*  
*asignando pesos específicos diferentes*
- *aprovechamiento humano del valor extrínseco (frecuencia de paso de personas,...)*

Y en base a ello, la asignación de escalas, por encuesta y foto, a una representación social ponderada, de:

1. componentes objetivos

- *factores físicos*
- *categorías estéticas*

diferentes autores dan diferentes criterios de ponderación entre los componentes, no se describirán aquí, si bien se hará referencia a algunos de ellos, indicando en que medida consideran las diferentes variables causa posibles:

	Factores					Categoría estética		
Autor	Uso	Vegetac.	Edificio	Agua	Relieve	Estruct.	Diversida	Volumen

<i>Schuurmans &amp; Van Shie</i> (1968)	+++	++	+	++	++	-	-	+++
<i>Vrij</i> (1976)	+++	+	+	+	+	-	+++	++
<i>Smith</i> (1976)	+++	+	+	+++	+++	+	-	+
<i>De Veer</i> (1977)	+++	+++	+	++	+	+	++	+++
<i>Van der Ham</i> (1970)	++	++	+	+	+	-	-	+++
<i>Kerkstra</i> (1974)	-	-	-	-	-	-	+++	+++
<i>Koster &amp; De Veer</i> (1972)	++	++	++	++	++	-	+	+++
<i>Maarleveld &amp; De Lang</i> (1972)	+++	++	+	+	+++	-	-	+

2. apreciaciones subjetivas, tampoco se describirán los criterios, pero también se referenciarán los más utilizados:

MÉTODO	CARACTERÍSTICA PRINCIPAL	VALORACIÓN	UNIDADES
<b>Subjetividad aceptada</b>	Se acepta como punto de partida que la apreciación estética del paisaje es algo subjetivo	Profesionales de experiencia y criterio, con estándares escritos	Recorridos e itinerarios
<b>Subjetividad controlada</b>	La valoración ha de ser subjetiva, pero sistemática, de forma que los resultados de su aplicación sean comparables en distintos lugares	Relativa a una escala universal predefinida	Unidades fisiográficas homogéneas
<b>Subjetividad compartida</b>	Discusión y ponderación de los valores personales	Iteración dinámica de un grupo de opinión	Recorridos y mesas de trabajo
<b>Subjetividad representativa</b>	Valoraciones de grupos representativos de la sociedad	Encuestas	Fotografías

- **recreativo**, evaluable a partir de la estimación de las visitas realizadas, la proximidad a centros urbanos, su población, la oferta natural alternativa,...
- **educativo**, medible en términos similares a los anteriores
- **científico**, en casos de excepcional riqueza natural

Nos encontramos aquí con la esencia básica de las opiniones y decisiones respecto al grado de regresión o degradación exigible a la Naturaleza en favor del bienestar. A este punto hay que reducir discusiones o acciones, el resto es una simple cuestión de definición y medida a realizar científicamente, no a polemizar. Enfocando adecuadamente el problema podremos ayudar al medio y ayudarnos a nosotros.

Diferenciamos la casuística posible:

• ***La extracción de recursos del medio provoca regresión, la fragilidad se incrementa sólo mientras dura el aprovechamiento,***

1. La productividad aumenta y la biodiversidad disminuye, circunstancias habituales en aprovechamientos estables e históricos (cultivos, pastos, leñas, bosques madereros).
  - i. Cuantificando la capacidad y fragilidad, estimamos el coste ecológico de los aprovechamientos, que normalmente serán

justificados socialmente, pues existimos y la opción de suicidio colectivo no es planteable.

2. La productividad aumenta en términos económicos, que no reales, y la biodiversidad disminuye, lo que sucederá normalmente en explotaciones agrarias, ganaderas, mineras y forestales estables pero de uso discutible en función del criterio prioritario de máximo aprovechamiento y rentabilidad, o mínimo impacto ecológico.
  - i. Cuantificando la capacidad y fragilidad, tenemos argumentos concretos para defender una u otra postura, si bien normalmente vencerá la productiva, salvo que la biodiversidad tenga un valor tan alto que la sociedad esté dispuesta a sacrificar producción.
3. La productividad y la biodiversidad disminuyen respecto a la capacidad del ecosistema, lo que sucederá cuando por las circunstancias sociales, históricas,... el uso sea inadecuado.
  - i. Cuantificando la capacidad y fragilidad, podemos demostrar el beneficio para el particular y/o para la sociedad, de un cambio de aprovechamiento, en el que siempre estamos a tiempo.

En cualquier caso la medida de los valores absolutos y de las variaciones en cantidad y calidad de biomasa y fragilidad, además de las necesidades socioeconómicas tanto privadas como colectivas, son los criterios a utilizar para la adecuación de usos del suelo:

¿Justifica un determinado grado de regresión medible la satisfacción de una necesidad de bienestar colectivo o privado?. **Esto es lo socialmente opinable, no el valorarlo.**

• ***La extracción de recursos del medio provoca degradación, la fragilidad se incrementa a medida que se prolonga el aprovechamiento, y se mantiene después de abandonarse.***

En sociedades en las cuales las necesidades socioeconómicas no incluyen el aprovechamiento de estos terrenos para la supervivencia, la tozudez en el uso inadecuado del suelo es una responsabilidad hacia las generaciones futuras que no se justifica ni en términos económicos:

1. La productividad aumenta inicialmente para después degradarse, y la biodiversidad disminuye cada vez más, hasta el abandono del uso (roturaciones en ladera sin prácticas de cultivo adecuadas, quema y pastoreo,...).
2. La productividad es superior en términos económicos, que no reales. La capacidad y la biodiversidad disminuyen.

Los valores absolutos y relativos de pérdida de productividad y biodiversidad definen el coste natural de un beneficio económico inestable y a corto plazo, consecuencia de un uso inadecuado:

¿Cuanto cuesta al bienestar colectivo el uso particular?, e incluso ¿cuanto cuesta al propietario el tener un uso inadecuado del suelo?, y en cualquier caso, ¿cuanto se está degradando el medio natural por un comúnmente pírrico beneficio?

Esta es por desgracia la circunstancia que en nuestro entorno y durante nuestra historia ha llevado a la desertificación de gran parte del suelo. **Esta es la causa de la existencia del Desierto Ibérico.**

Para ilustrar la importancia de medir antes de opinar, veamos dos ejemplos que llevados al extremo, pueden resultar hasta ofensivos para las apreciaciones colectivas comúnmente aceptadas, que pueda haber por opinar antes que medir. Frases oídas que pueden en ocasiones ser ciertas, pero no en general:

- *El eucalipto desertiza.*

*Hemos visto que la creación de un disclímax con especies alóctonas constituye una de las causas de fragilidad, y su utilización por regla general, disminuye la biodiversidad respecto al clímax autóctono. Sin embargo, ¿se trata de una regresión o de una degradación?, y ¿respecto a que nivel de la serie?*

*En muchas ocasiones la plantación de un eucaliptal (es eso, un cultivo industrial como otros, pero de árboles), proviene de prados que bien por escaso rendimiento económico, por políticas supranacionales (cuotas lecheras de la UE), por emigración de la mano de obra a la ciudad o por planificación política, han reconvertido su uso a cultivo de madera por causa de una mayor rentabilidad (menor coste de mantenimiento). En ese sentido es para el propietario justificable, e incluso lo puede llegar a ser para la sociedad si la espesura es tal que permite un sotobosque de vegetación subclimácica (roble, avellano,...) que en el prado de siega no existía.*

*Si se cuida la espesura para que el consumo de agua sea proporcional a la capacidad del medio, llegue la luz suficiente para la descomposición de la materia orgánica y exista una vegetación autóctona de retén para asegurar que si se abandona el uso, pueda progresar de nuevo la serie, nos encontramos en un caso de regresión y no de desertificación.*

*Por desgracia, el establecimiento de plantaciones de eucalipto no se realiza teniendo en cuenta estos criterios, y en muchas ocasiones en biotopos que no son aptos para evitar una regresión más aguda, e incluso degradación.*

*Es falso que el eucalipto desertice, puede hacerlo si no se utiliza adecuadamente, pero no tiene porqué ser más que una simple regresión. (Por cierto, aún es más falso que se talen hayedos para plantarlos, pues en la Cornisa Cantábrica las cotas de ambas especies son muy diferentes por su distinta valencia frente a las heladas).*

*El eucalipto desertiza o no como todo, dependiendo de dónde, cómo y cuándo se use.*

- *Al pastor se le asocia a la imagen de un bucólico amante de la Naturaleza*

*El pastor lleva a sus rebaños por los barbechos de cultivos, o por las lomas de pendientes más fuertes (que probablemente se han intentado roturar en el pasado cíclicamente, y se han abandonado por su escasa e irregular producción), que salpican las zonas de cultivo. Esta última práctica hemos visto que es la más dañina y, junto con los incendios, las causas más importantes de la desertificación de la Cuenca Mediterránea.*

*Sin embargo, sucede lo de siempre, si se establecen cargas de ganado y rutas de pastoreo adecuadas, ya sea por barbecho, o por sotobosque de frondosa con brotes de cepa. Este aprovechamiento puede ser hasta bueno para la fragilidad de los ecosistemas, pues reduce el riesgo de incendios. El problema está en no establecer*

*los criterios adecuados en base a la cuantificación de la modificación de capacidad y fragilidad, para racionalizar los aprovechamientos.*

*El pastoreo puede ser beneficioso contra la erosión, no sólo como rejuvenecedor del bosque (lo que disminuye la fragilidad), sino además por:*

- *la formación de terrazas naturales de caminos de ganado (siempre van por los mismos sitios)*
- *el pateo limita la extensión de plantas nocivas, ayuda a enterrar las semillas y compacta la capa superficial del suelo, lo que le hace edáficamente menos frágil*
- *el abonado natural del terreno*
- *control del sotobosque*

*Por desgracia, el pastoreo extensivo no está planificado con criterios a largo plazo, y en general por ello, causa más daño que beneficio. Lo peor de las explotaciones extensivas de laderas degradadas por rebaños de ovejas y cabras no es sólo la degradación que producen, sino el funesto negocio que se realiza al obtener mínima renta (los pastores no son gente rica), a cambio de un enorme coste para la capacidad del ecosistema.*

***Resulta particularmente ofensivo que por la desvirtuación del mal entendido conservacionismo rural, la Unión Europea esté subvencionando a 3.600 pts por cabeza de ovino o caprino al año, independientemente de la sostenibilidad de su uso. Por no tener claros los conceptos estamos invirtiendo muchísimo dinero en nadar y guardar la ropa, en contradecir medidas que por un lado atacan la sostenibilidad y por otro la defienden. lo cual por desgracia no es particularmente original en la Historia.***

*La explotación ganadera extensiva ordenada, con pastizales en terrenos de vocación a pasto, con cubierta completa, pendiente no excesiva, carga controlada y regulada en el terreno y tiempo, no sólo protege al suelo, sino que además es productiva para el pastor a corto y largo plazo.*

*El pastor cuida el ecosistema dependiendo de dónde, cómo y cuándo lo use.*

Llegamos pues a la necesidad de conocer dónde, cómo y cuándo se admite un determinado aprovechamiento, o sea cual es la **Vocación** de cada lugar del territorio. Este es el objetivo último de ésta parte de la exposición, y para su definición deben utilizarse los mismos criterios hasta ahora descritos.

- Clasificación de *H.H. Bennet* (1939, modificada reiteradamente desde entonces y actualmente de uso general en agricultura). En España se ha adaptado a las circunstancias de nuestra geografía física, y es utilizada para la confección de los *Mapas de Capacidades Agrológicas* escala 1:50.000 del *Ministerio de Agricultura*.

V Vocación	Cl Clase	Cl Clima	Características	Medidas	OConsevación
---------------	-------------	----------	-----------------	---------	--------------

Vocación	Clase		Suelo						
como max		permite...						produc.	
			pendiente	profundidad	fertilidad	laboreo	erosión		
Cultivo	I	Cosecha anual sin barbecho	< 3 %	> 1 m	muy buena	fácil	nula	fertilización	sin piedras
	II	cereal, leguminosabarbecho	3-7 %	0,75-1 m	buena	fácil	nula-ligera	cultivo a nivel o fajas	
	III	cereal leguminosabarbecho	< 20 %	< 0,75 m	regular-mala	media	ligera-moderada	terrazas y drenajes	
Pasto	IVa		> 5 %	< 0,5 m	regular-mala	media	moderada-fuerte	terrazas, drenajes, barbecho	cultivo ocasional
	IVb		> 5 %	< 0,5 m	regular-mala	difícil	moderada-fuerte	terrazas-drenajes, barbecho	cultivo ocasional
	IVc		> 5 %	< 0,5 m	regular-mala	difícil	moderada-fuerte	terrazas, drenajes, barbecho	cultivo ocasional
Pasto	V		< 5 %	< 0,25 m	regular-muy mala	no	ligera-moderada	-	páramos, terrenos anegados, zonas pedregosas
Bosque	VI		< 35 %	< 0,5 m	regular	no	moderada-fuerte	restricción al ganado	producción de madera
	VII		> 35 %	-	regular-mala	no	fuerte-extrema	restricción al ganado	función protectora
Otros	VIII		-	-	nula	no	nula-extrema	-	desiertos, riscos, cumbres, dunas, marismas,...

- Clasificación hidrológica, basada en diferenciar en cada zona homogénea:

- *pluviometría*
- *torrencialidad*
- *régimen termométrico*
- *exposición (solana o umbría)*
- *profundidad de suelo*
- *características edáficas*
- *pendiente*
- *vegetación*
- *uso*

para determinar, según las metodologías y criterios expuestos, su

- *fragilidad (riesgo)*
- *fragilidad efectiva (erosión, salinización,...)*

- *productividad (natural y biodiversidad)*
- *capacidad (productividad potencial)*

y limitar en base a ello los aprovechamientos posibles.

Con ello cada zona homogénea puede dedicarse a aprovechamientos de modo limitado por los factores que producen la degradación, y por tanto con esta premisa, puede definirse con criterios económicos (particulares o colectivos), o ecológicos (ambos cuantificables), que uso es el más adecuado para los intereses del propietario, de la sociedad o ambos.

Mientras se escribía este capítulo, leía en una entrevista periodística con un alto cargo de la Administración ante la pregunta de cual era la medida de lucha contra los incendios más efectiva. Este contestó: *“No debería decirlo por la responsabilidad que ejerzo, pero me lo pide el cuerpo: Sería muchísimo más barato y efectivo pagarle un buen sueldo a cuatro pastores que malviven de sus rebaños y dos desaprensivos que redimen sus diferencias con cerillas, que repoblar, mantener retenes antiincendios y comprar hidroaviones.”* Sin embargo se sigue subvencionando con dinero público al pastor un sueldo completo por el mero hecho de soltar a buscarse la vida un rebaño de 750 ovejas hagan o no desastres. Curioso, ¿no?.

## **PARTE III**

### ACCIONES

## LUCHA CONTRA LA DESERTIFICACION

Somos capaces ahora de identificar conceptualmente las causas y efectos de los procesos de regresión, degradación y desertización, y es más, podemos estimarlos cuantitativamente. Estamos pues en disposición de corregir los efectos, atacando a las causas, y podremos medir “a priori” las consecuencias de estas acciones, para conocer así el rendimiento y consecuencias de los esfuerzos a realizar.

En primera instancia, y dado que la desertificación es cosa sobretodo de pobres, las actuaciones a realizar serán tanto más urgentes cuanto mayor sea la miseria de la población que vive en las zonas a tratar. Cualquier solución técnica será futil si previamente no se estabiliza la demografía y el nivel de consumo, para que el medio pase a tener la consideración de objeto de bienestar y no de supervivencia. O sea, la **Lucha contra la Desertificación es primero la Lucha contra la Miseria, sólo después pueden aplicarse soluciones técnicas.** Incluso en la problemática española, sigue siendo válido, pues parte de la población rural depende únicamente del máximo rendimiento del medio natural a corto plazo.

Resumamos brevemente las causas genéricas, todas ellas interrelacionadas, y que ya dan una orientación de las posibles acciones a tomar para evitar los efectos:

- *modificación de la capacidad reflexiva de energía de la atmósfera por variación de sus concentraciones de materias en suspensión y gases, provocando cambios en los regímenes pluviométricos y torrenciales (a veces extremizando y otras suavizándolos), a veces puede ir a peor, y la Ley de Murphy, en uno de sus múltiples enunciados dice “a perro flaco, todo son pulgas”*
- *disminución de la protección del suelo por la vegetación: incremento de la energía cinética de la lluvia contra el suelo, reducción de la evaporación, transpiración, intercepción e infiltración del agua (disminución de la lluvia aparente para las plantas)*
- *aumento de la escorrentía y consumo del agua, que pasa del suelo y subsuelo directa o indirectamente (a través del consumo humano), al mar, provocando un déficit hídrico para las necesidades de las plantas e incremento de la capacidad de transporte de materiales (incremento de la lluvia aparente para las personas)*
- *incremento de las necesidades de la extracción de productos del medio por encima de la posibilidad del mismo, como consecuencia de una mayor demografía y nivel de vida*
- *aumento del riesgo de procesos drásticos de rejuvenecimiento de los ecosistemas: incendios y plagas*
- *utilización incontrolada de técnicas de incremento de la productividad inmediata, por rentabilización económica, y a pesar de no ser necesario para la supervivencia.*

O sea, aprovechamiento del medio con criterios a **corto plazo** (productividad actual), en vez de considerar el **largo plazo** (fragilidad y capacidad): dónde, cómo, cuánto y cuándo se explota.

Por todo lo visto el único modo para que no se produzcan y/o detener los procesos de degradación, es limitar:

- *la velocidad de emisión de productos a la atmósfera*
- *los usos del suelo a su vocación (dónde)*
- *la producción a la posibilidad (cuánto)*
- *la técnica de explotación (cómo y cuándo) a la fragilidad*

Es decir, en su aspecto técnico, el freno a la desertización se limita en su más puro significado a la **Ordenación del Territorio en Desarrollo Sostenible** con criterios ecogeográficos, salvo que defendamos un suicidio colectivo y el regreso a la tradición agrícola, alta mortandad y conservacionismo a ultranza (lo que gente como *Pol Pot* ya ha intentado). Necesidad tanto más crítica cuanto mayor sea la fragilidad y la pérdida de productividad lograda.

Ello estabilizaría el nivel de degradación con el de consumo y demografía actuales, sin embargo tenemos extensos territorios degradados, y ya no es solamente cuestión de frenar estos procesos y mantener la productividad del suelo en sus niveles actuales, sino recuperar su capacidad perdida. Para ello hay que considerar varios niveles de acción, (tanto más drásticos cuanto mayor sea el grado de degradación), en función del plazo en que se pretenda restituir la productividad perdida. Así la lucha contra la desertización puede plantearse a dos niveles: **Freno y Reconstrucción**.

1. Prohibir cualquier uso, para que el ecosistema de forma progresiva utilice su productividad para reinvertirla en sí mismo, en vez de para que nosotros la aprovechemos (o malgastemos), y así recuperar normal y lentamente su estado potencial. Por ejemplo, vallado y prohibición total de pastoreo extensivo en ecosistemas donde la presencia de matorral, aún en malas condiciones, permita prever su desarrollo hasta la cobertura suficiente del suelo y el inicio de la progresión de la serie; o prohibiendo el acceso de personas a lugares y en épocas de extremo peligro de incendio. Al fin y al cabo en un aprovechamiento ordenado de los recursos naturales, promocionamos la rápida madurez del ecosistema, y mantenemos ésta extrayendo su posibilidad para evitar que envejezca y se autorejuvenezca drásticamente, pero si el ecosistema es excesivamente inmaduro, y si hay riesgo de degradación, no podemos aprovecharlo. Así en un ecosistema no maduro lo más barato y lento que se puede hacer (si las condiciones socioeconómicas lo permiten), es promocionar la evolución a estados más maduros reinvertiendo su propio crecimiento en el medio y no en el hombre.

Pero, puede ser necesario equilibrar la recuperación de la capacidad y mejora de la fragilidad del ecosistema, con los condicionantes socioeconómicos. En este caso habrá que llegar a un “entente cordial” entre intereses contrapuestos para que todos pierdan lo mínimo a corto plazo y ganen a largo, aún a costa de sacrificios de ambos intereses, y limitar el uso, aprovechamiento y explotación más drásticamente de lo estimado en la vocación, productividad y fragilidad del ecosistema, (posibilidad menor a la productividad), con el fin de que se recupere aún más lentamente que en el caso anterior, disminuyendo pero sin eliminar, a corto plazo la renta. El proceso es en cualquiera de los dos casos lento (en el último más), y es cuestión de criterio.

2. Actuar drásticamente para reconstruir, normalmente de modo parcial, la serie progresiva anterior u otra, de modo que se recupere la capacidad al menos hasta un nivel que pare la degradación y permita una próxima progresión.

La madurez del ecosistema puede alcanzarse lentamente dejándolo a su libre evolución, o puede acelerarse con la acción humana (compensando lo que también la acción del hombre contribuyó a degradar). Pese a que nos duela, no suele ser posible pasar de un ecosistema en sus más bajas cotas de degradación a una etapa climácica o preclimácica autóctona a un coste aceptable, pues al igual que en la evolución natural, la aproximación al clímax es gradual, y conforme se consiguen nuevas etapas más evolucionadas, la progresión es cada vez más lenta y compleja en sus interrelaciones, o sea, cada vez es más difícil de reconstruir artificialmente. La actuación puede ser casi tan drástica como el nivel de degradación al que se ha llegado, de otro modo, si el hombre no lo hace, puede que la Naturaleza por sí sola actúe en forma de graves erosiones o incrementos de escorrentía superficial (inundaciones y pérdidas económicas en agricultura, obra civil y núcleos urbanos), durante las primeras fases de su progresión, e incluso meterse en un ciclo tal que impida esta remaduración.

Debemos tener en cuenta que el desierto es aquel estado de degradación en el que la productividad es insuficiente para frenar el proceso y mantener el suelo, aún sin la acción humana, y aunque haya sido consecuencia de esta (desertificación). La reconstrucción artificial de los ecosistemas pasa a ser en este caso de alternativa a obligación.

El criterio utilizado generalmente para ello, es repoblar con una cobertura del suelo con especies frugales (pinos, matorral,...) suficiente para que con los años se permita evolucionar hacia fases más avanzadas. Una acción de este tipo puede prever a largo plazo la ayuda con tratamientos selvícolas a la introducción de especies más exigentes, primero en el sotobosque y después en competencia con los anteriores, para no sólo reconstruir una etapa intermedia de la capacidad, sino provocar una aceleración en etapas progresivas posteriores, o bien prever a largo plazo el uso productivo para el desarrollo local y general (siempre con la condición de asegurar una renta constante en el tiempo).

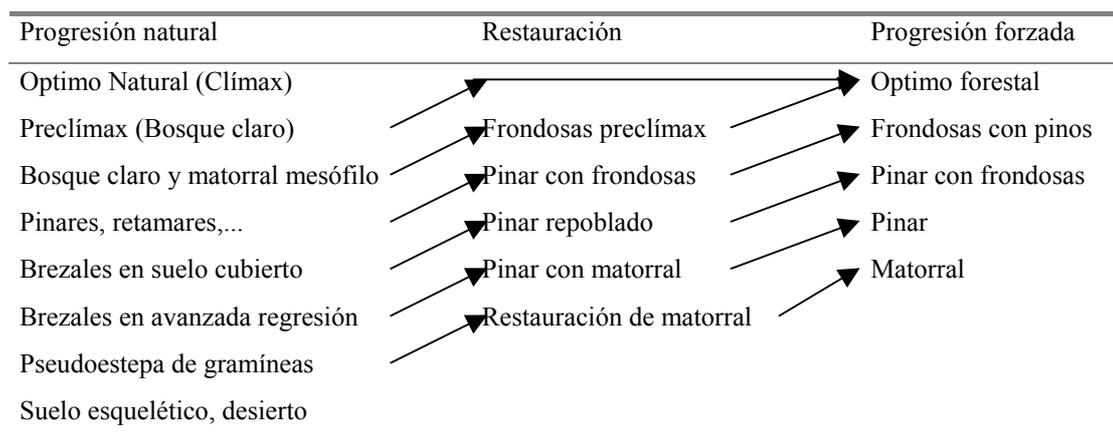
Si existen condicionantes socioculturales que primen la necesidad económica y productiva, frente a la del valor intrínseco de la Naturaleza, o en los que confluyan intereses particulares y colectivos, una vez llegados a una fase de razonable garantía de reinicio de la progresión (fase regresiva), es posible el normal entente cordial entre conservación y producción a través de la ordenación forestal del monte, que si bien no llega a tener la mínima fragilidad, ni la máxima biodiversidad, consigue un valor productivo suficiente como para dar trabajo y riqueza a la población, además de aspectos recreativos, paisajísticos y para el consumo. La experiencia de este tipo de aprovechamientos durante más de 150 años en España, ha demostrado que las carencias de fragilidad (riesgos), que implica mantener una situación subclimácica, es compensada ampliamente por el interés de protección de la riqueza productiva para las gentes del lugar. Los pinares productivos y rentables de Soria no se incendian fácilmente.

Si se ha perdido productividad, es utópico pensar que se recuperará simplemente con una repoblación de un número limitado de especies y ecotipos. El proceso debe considerar la capacidad presente como limitación de las posibilidades de reforestación, y con el tiempo, al ir creciendo la capacidad (más suelo, mejor drenaje, mejor estructura hídrica, aparición de especies colonizadoras,...), intentar acelerar el proceso si existe necesidad y disponibilidad de recursos.

Es preciso no caer en la simplicidad demagógica de despreciar las tradicionales repoblaciones de pino por su frugalidad. Analizando las series progresivas, y con criterio de optimización de los recursos disponibles frente a la dimensión de las actuaciones necesarias, en muchas ocasiones estas técnicas de reforestación son las más idóneas, pese a sus inconvenientes. Se actúa drásticamente sobre un suelo deteriorado con un presupuesto limitado, por lo que el objetivo debe ser reiniciar la progresión desde lo más arriba posible sin tener que ser jardineros del medio natural. En el pinar, y con un adecuado control de los riesgos, está a menudo la garantía del inicio de la recuperación.

Otras técnicas pueden ser muy válidas si se dispone de viveros y suelo adecuados, como por ejemplo la reforestación con matorral espeso. Presenta el inconveniente de que según sea la serie autóctona de vegetación, el matorral frugal y heliófilo pueda no ser interesante para la riqueza de la zona y por tanto gane en fragilidad real. Dependerá de cada caso, pero en general la repoblación con matorral o especies no madereras es una alternativa planteable solamente en zonas donde por la pendiente, accesos, suelo,... la vocación del bosque sea únicamente protectora y no productora.

*No es posible parir a un hijo con edad de votar, habrá que cambiarle los pañales, llevarle al colegio, pasar la adolescencia y rebeldía,...* **En la progresión de ecosistemas el ritmo al que las cosas sucedan se puede forzar, pero no saltar.**



(Luis Ceballos)

La definición del criterio a seguir dependerá de:

- *Fragilidad del ecosistema*
  - *reversibilidad: velocidad de cicatrización*
  - *resistividad: riesgo de incendios y plagas*
- *Grado de desertización*
- *Vocación del suelo*
- *Presupuesto disponible*
- *Intereses socioeconómicos:*
  - *rentabilidad para los particulares*

- *necesidades de consumo social*
- *requerimientos ecológicos, paisajísticos, recreativos,...*
- *Impacto*
  - *medioambiental*
  - *hidrológico (lluvia aparente)*
  - *económico (producción y daños)*

Sucesivamente los países han ido tomando cada vez más consciencia de la necesidad de organizar la relación entre regeneración de la capa vegetal y protección del suelo, incorporando legislación al respecto y creando infinidad de organismos de control. Pese a ello, la sociedad sigue sin tener clara la evolución de estos procesos, ni las relaciones causa-efecto que tienen, y por tanto no exige adecuadamente las acciones concretas necesarias. No se repuebla por un solo motivo, se repuebla por muchos: agua, producción, erosionabilidad, paisaje, ocio, biodiversidad,..., y estos aspectos son indisociables aunque sean ponderables en el objetivo de la reforestación. Estar genéricamente contra las repoblaciones de pino, es como estar contra los semáforos: una solemne tontería.

*Fourier* en 1972, propone un programa de actividades para remediar la desprotección del suelo y la pérdida de posibilidad para la sociedad que ello provoca (tanto en términos económicos, como sociales):

- *conservación del suelo por modificación de sus propiedades*
- *conservación del suelo por el control de la vegetación*
- *control del agua para la contención de la erosión*
- *corrección de torrentes para luchar contra la erosión*
- *control de la erosión nival y avalanchas*
- *lucha contra la erosión eólica*

Estos aspectos se han desarrollado con los años, y junto con la producción forestal, constituyen la motivación de la reforestación. No es objeto de este libro profundizar en las técnicas de reforestación utilizadas normalmente, sí el comprender su motivación. Como muestra una tabla resumen de las acciones que proponen *J. Mintegui y F. López Unzu* (1990):

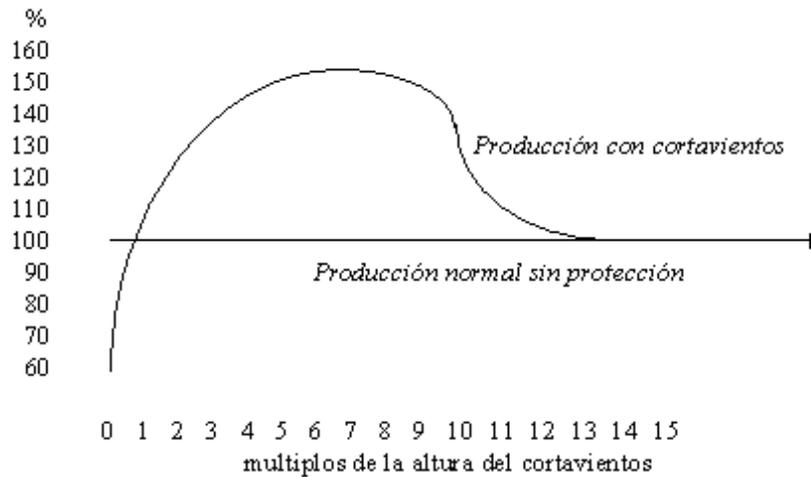
Objetivo	Clima	Factor limitante	Factor condicionante	Acciones correctoras
Conservación y Uso	Arido			No abandonar cultivos sin previo establecimiento de vegetación colonizadora

Control del agua	Seco	Sin exceso de agua	$S < 12 \%$	Agricultura intensiva racional Agricultura con barbecho y/ó pastizales	
			$12 < S < 24 \%$	Prácticas de coservación de suelos Descansos y barbechos Implantación de pastizales	
			$24 < S < 30 \%$	Creación y mantenimiento de pastizales Repoblación forestal Conservación del bosque	
	Cualquiera	Exceso de escorrentía	$S > 30 \%$	Repoblación forestal Conservación del bosque	
			$S < 20 \%$	Terrazas de desagüe o de canal	
				$20 < S < 30 \%$	Banquetas con canales de desagüe Bancales con desagüe asegurado
				$S > 30 \%$	Albarradas (pequeños diques)
			Con encharcamiento	Drenaje en profundidad Drenaje en zanjas superficiales	
				Con falta de humedad	$S > 15 \%$

En realidad para el que haya comprendido la exposición, todo ello debe ser a estas alturas obvio, pues conoce y sabe que es posible estimar y cuantificar las causas y efectos de los procesos de degradación. A pesar de ser reiterativo, podemos describir la técnica de lucha contra la desertización a través de:

- Ordenación del territorio en desarrollo sostenible (agricultura, ganadería, producción forestal, conservación, urbanismo, infraestructuras, servicios e industria, cada uno en su lugar y con sus condicionantes)
- Definir geográficamente la vocación (dónde), fragilidad, fragilidad efectiva, capacidad (productividad potencial), biodiversidad, productividad real
- Definir las alternativas técnicas de aprovechamiento (cómo, cuándo y cuánto) en cada punto del territorio
- Legislar para que ello se cumpla, e incluso si es necesario establecer una función de policía al respecto.
- Motivar a los particulares para que adecuen el uso a alguna de las alternativas de la productividad técnica (créditos, deducciones, subvenciones,...).
- Establecer normativas de protección de la productividad agraria
  1. obligar al cultivo con técnicas de protección donde sea preciso (cultivo a nivel, por fajas, zanjas, setos, terrazas, bancales)
  2. prohibir la agricultura donde no pueda mantenerse la posibilidad a largo plazo (vocación agrícola)
  3. proteger con barreras cortavientos aquellos cultivos frágiles a la acción eólica, no sólo para defenderlos del viento en sí, sino además del incremento de la

evaporación que este provoca, y por tanto de la disminución de la lluvia aparente para las plantas.

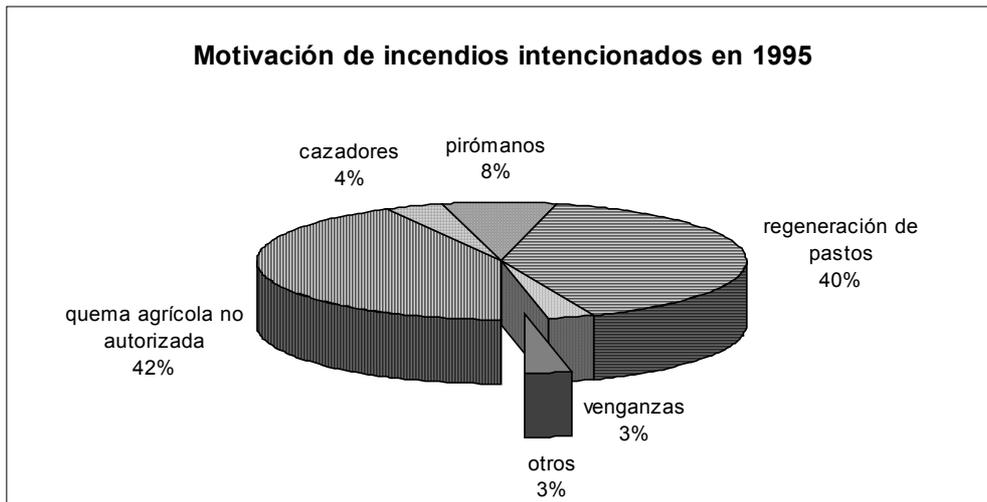


(Stoeckler, en García Salmerón, 1967)

- Prohibir el acceso y/o uso a determinadas zonas (vallado, cierre de caminos,...). Ello implica la limitación de usos actuales y choque entre necesidades particulares y colectivas que es preciso solventar (y no es fácil).
- Restringir las cargas ganaderas en especie, temporada y lugar, y probablemente reducir la cabaña ovina y cabruna extensiva
- Fomentar la ordenación ganadera y los pastizales permanentes y estables
- Controlar los aprovechamientos productivos del bosque con técnicas selvícolas, que están enfocadas al fin de obtener la máxima productividad económica a largo plazo, promocionando los valores paisajísticos y recreativos, reducir la fragilidad efectiva, aún a costa de mantener los ecosistemas en estados subclimáticos, de menor valor intrínseco en biodiversidad euclimática
- Promocionar y/o subvencionar usos que de modo planificado ayuden a mantener un nivel de fragilidad menor del natural (carboneo o pastoreo del sotobosque, limpiezas y claras,...). En este aspecto, los aprovechamientos forestales son los más controlados (aunque no sea suficiente), pues disponen de legislación y guardería para obligar el cumplimiento de la planificación.
- Establecer una política de lucha contra los incendios forestales, no sólo a través de publicidad, control de las actividades recreativas, y estructura de prevención y extinción, sino además:
  1. Promoción de aprovechamientos que limpien el sotobosque y se reduzca así el riesgo de incendios (envejecimiento). Existen experiencias piloto de uso intensivo del sotobosque para centrales microtérmicas, carboneo, cría de burros, cerdos, pastoreo intensivo de cabra, caza mayor,... La migración del medio rural al urbano debe compensarse con aprovechamientos planificados y alternativos, para disminuir los riesgos.

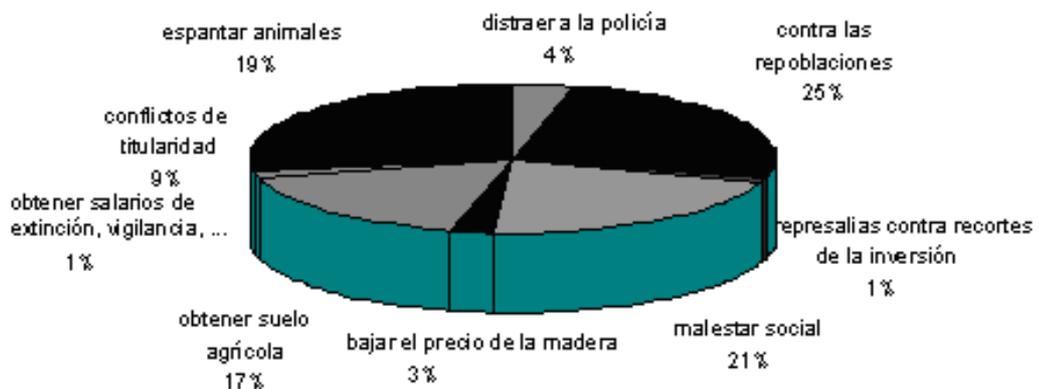


2. Legislar para que los particulares no puedan sacar beneficio de la fácil destrucción de un bien colectivo (venta de madera, recalificación urbanística, roturación y pastoreo,...).



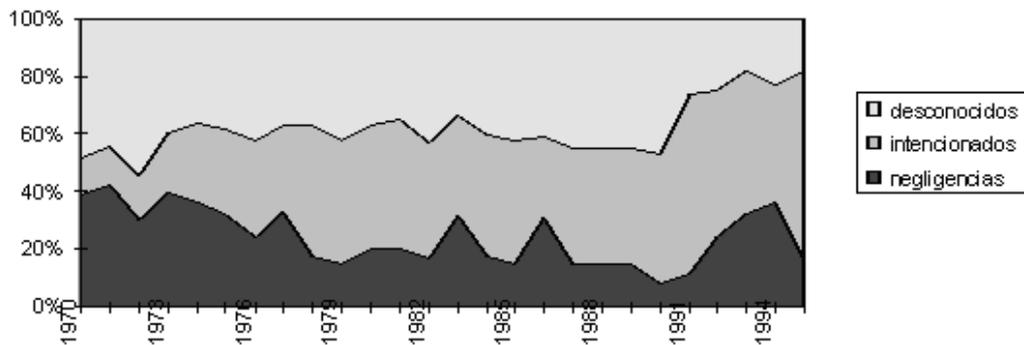
(ICONA, 1996)

### Subdivisión de otras motivaciones (3 %)



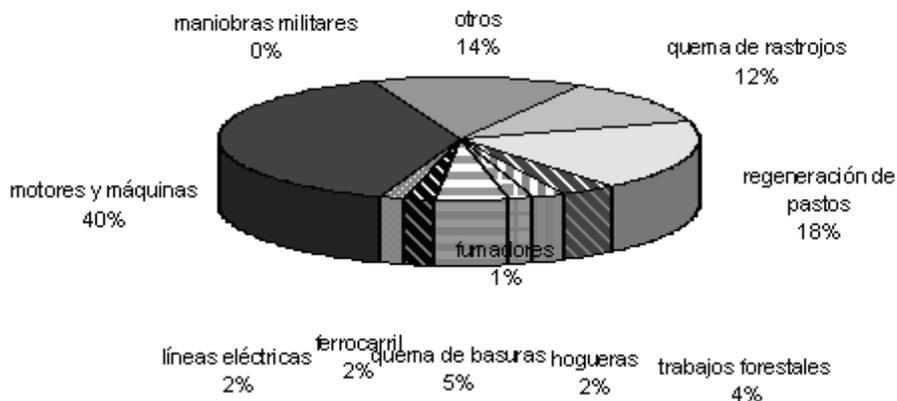
Si añadimos al porcentaje de causas intencionadas, las negligencias en las quemas de rastrojos y pastos autorizadas, y buena parte de las desconocidas, podemos estimar en 2/3 a 3/4 partes de motivos de interés particular de lo más variado en los incendios forestales, y contra lo que se oye en algunos medios, apenas existe causalidad constatada con posible relación con industrias forestales o recalificaciones urbanísticas, sino que están en su mayoría directamente provocadas por usos del fuego en explotaciones agroganaderas, y lo peor es que aún con rentas cada vez menores, la cosa va a más con el tiempo:

### Evolución de la causalidad



- Contra lo que pueda pensarse, la mayor parte de los incendios producidos por negligencia, se deben a pérdida del control en trabajos próximos a zonas forestales, y es relativamente escasa la incidencia de los excursionistas, a los que normalmente se les culpa de todo este apartado de causas. De nuevo se hallan aquí los usos inadecuados del fuego. Como ejemplo tomaremos también los datos de 1995:

### Tipos de negligencia



- Reconsiderar la política de propiedad rural y forestal, y promocionar el abandono de aprovechamientos incompatibles, para que los intereses colectivos sean los que definan los usos. Las tasas de los incendios son menores cuando están orientados a uso particular o colectivo puro, pero se

disparan en mezcla (en la década 70/80, la superficie afectada fue 2,5 veces superior en los montes consorciados, que en los del Estado, comunales y privados). Interés y responsabilidad deben ir juntos.

- Minimizar los aportes de agua dulce al mar: la red hidrográfica canaliza los excedentes de infiltración y de escorrentía del biotopo. Si aumentamos el consumo y disminuimos la infiltración (aumentando la escorrentía superficial), debemos por la tajante fuerza que impone el balance hídrico no dar salida a la escorrentía y provocar, aunque sea “a posteriori”, infiltración y consumo a partir de la escorrentía, no del incremento de la fragilidad de los ecosistemas (reducción de la precipitación útil e incremento de la capacidad de arrastre de suelo):

- *mejora de la cubierta vegetal*
- *construcción de embalses*
- *consumo racional del agua*
- *transvases entre cuencas hidrográficas*

- Regenerar la cubierta vegetal, ya sea:

- por repoblación y reforestación del bosque, para provocar el inicio de la progresión de una forma más rápida
- por cuidados culturales a la vegetación presente, facilitando su lenta progresión hacia etapas de menor fragilidad y mayor capacidad

si bien lo más normal y recomendable puede ser la combinación de ambas acciones.

- Y sobretodo, **establecer los modos de aprovechamiento de los recursos naturales de tal forma que respetando la estabilidad a largo plazo, la población directamente relacionada con el medio en el día a día, lo perciba como una fuente de riqueza**, pues es condición humana hacer o proteger por interés.

Si existen unas normas urbanísticas que se hacen respetar, ¿porqué no existen normas naturales del mismo nivel?, y si parcialmente las hay, ¿porqué se es tan permisivo en su incumplimiento?.

Sea cual sea el criterio adoptado en cada caso (reconstrucción natural o artificial, lenta o rápida), más dependientes de los intereses que de las opiniones para que sea viable, una vez descritos y medidas las causas y efectos de la degradación, condicionantes socioeconómicos, impacto ambiental, presupuestos y posibles acciones a tomar, habrá una distribución geográfica de actuaciones en función del criterio adoptado. En base de este, en mayor o menor medida y extensión, habrá que contemplar la drástica recuperación de estadios intermedios de progresión, o sea la regeneración artificial (el criterio difícilmente será extremo en un sentido u otro, pues una vez cuantificada la desertización, se definen diferentes niveles de acción, y no una actuación o no actuación general sobre toda la geografía).

**Si artificial ha sido la degradación**, por la falta de planificación de los aprovechamientos humanos, **también puede y debe ser artificial la restitución** de lo que por derecho le corresponde al ecosistema autóctono potencial. Volvemos aquí a una idea en ocasiones olvidada: **el que nos hayamos acostumbrado a determinados paisajes erosivos y ecosistemas degradados, no significa que deban ser conservados**. Nuestra apreciación humana es a nuestra escala de tiempo, que no es la

misma que la de la Naturaleza (nuestro ciclo de vida y memoria es bastante menor que el ciclo de evolución de un ecosistema).

Como en el resto de la exposición, consideramos la evolución del ecosistema en base a la evolución de su biotopo, o sea, de las circunstancias que lo definen. Para regenerar un ecosistema es preciso, regenerar primero el biotopo, y dentro de la biocenosis, antes la vegetación que la fauna, pues salvo casos concretos de reintroducción de especies, normalmente los animales poblarán un ecosistema en la misma medida que la estabilidad lograda en la vegetación.

Veremos ahora las técnicas de regeneración artificial más utilizadas, sin entrar en la definición de cuándo deben (criterio), aunque sí en cuándo pueden, ser utilizadas:

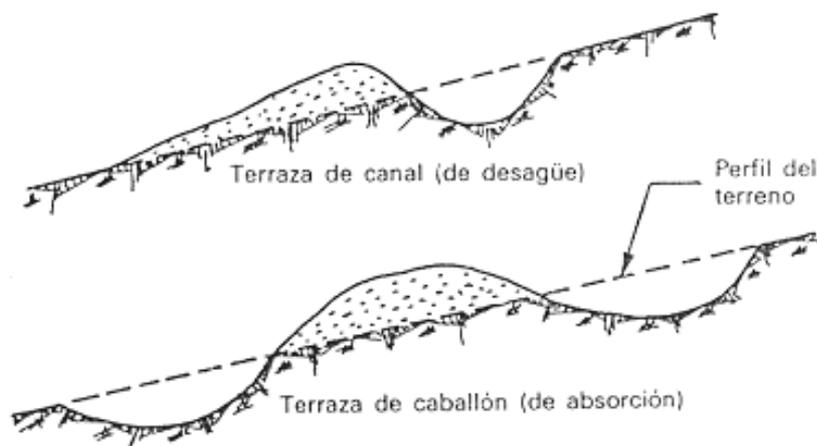
- Aterrazado.

En terrenos no compactos donde el suelo productivo está altamente degradado (la productividad es mínima), y sobre todo en ecosistemas de alta fragilidad (la reversibilidad de cicatrización es baja y el hombre ha conseguido vencer la resistencia del medio), puede actuarse directamente sobre la pendiente del suelo y su productividad en base a la destrucción de la roca madre y su mezcla con el suelo presente, dejando la ladera alternativamente llana para así reducir la erosión neta y hacer posible la repoblación de un estadio frugal, pero intermedio, de la progresión (repoblación con pino o incluso con matorral).

O sea, regenerar el biotopo antes de regenerar la biocenosis, pues esta no será soportada sin más por aquella en la medida euclimática. Estas técnicas agresivas, serán tanto más justificables cuanto menor sea la reversibilidad.

En cualquier caso las terrazas mejoran la precipitación utilizable, pero es preciso evitar un exceso que provoque movimientos masivos del suelo, por ello aterrazado puede ser:

- en terraza o bancal, según se estabilice con terraplén o con muro
- de desagüe o de absorción, según se facilite o dificulte el escurrimiento de la lluvia (con la pendiente)
- de canal o de caballón, según se escurra el agua (es similar a la distinción anterior)



- de perfil normal o torcido, por su rapidez de escorrentía



La intensidad y el volumen total de los aguaceros, así como la capacidad e intensidad de infiltración del suelo, condicionan la elección. El antiguo *Servicio de Conservación de Suelos del Ministerio de Agricultura* (ahora integrado en el *ICONA*), proponía:

Precipitación anual	Intensidad de la Infiltración		
	< 10 mm / h	10-20 mm/h	> 20 mm/h
< 500 mm	drenaje	absorción	Absorción
500-800 mm	drenaje	drenaje	Absorción
> 800 mm	drenaje	drenaje	Drenaje

La pendiente del terreno representa una limitación, tanto bajo el punto de vista de diseño, como por las disponibilidades de aperos y maquinarias necesarias:

Tipo de terraza	Pendiente del terreno
absorción o caballón	< 10 %
desagüe o canal	< 25 %
Escalón	> 20 %

En climas húmedos o semihúmedos las terrazas de absorción sólo son admisibles en suelos de textura arenosa y franco-arenosa, profundos y con escasa pendiente, siendo necesario dotar al caballón o lomo de la anchura suficiente para evitar posibles rupturas por infiltración. En zonas semiáridas y áridas con suelos poco profundos hay que plantear las de desagüe o drenaje si son arcillosos.

Las terrazas de absorción son las más adecuadas para cultivos, y para su construcción y mantenimiento se utilizan tractores medianos con aperos de vertedera o discos. Para pastizales o frutales, normalmente en pendientes más fuertes (es más normal la utilización de terrazas de desagüe), se requiere maquinaria más pesada. Aún más en repoblaciones forestales, donde incluso son necesarias orugas y pala, pues como en el caso anterior, la pendiente condiciona el tipo de vehículo a utilizar.

Quizás uno de los problemas más serios en las repoblaciones forestales sea el que no se hayan perfilado los aperos específicos, pues se precisa gran potencia y peso, pero

tienen menor impacto las terrazas estrechas. La maquinaria disponible está diseñada para construcción, ello provoca la necesidad de bien construir terrazas anchas, o bien invertir mayor presupuesto por hectárea, por el menor rendimiento de otras técnicas (al ser el presupuesto limitado, se suele optar por repoblar el máximo posible en extensión, si bien es una cuestión de criterio el repoblar menos y mejor).

Las terrazas pueden estar variablemente separadas, y los criterios más extendidos se basan en la pendiente:

Pendiente (%)	Distancia entre ejes				
	Murcia	Asturias	Huesca	Soria	Granada
10-20	5,5	6,0	5,5-6,0	8,0	5,0
20-30	5,5	6,0	6,0-7,0	6,0-8,0	5,0
30-40	5,5	6,0	7,0-8,0	5,0-6,0	5,0
40-50	-	-	8,0-9,0	5,0	5,0

(Aterrazados en plantaciones de pinos)

Los terraplenes entre las terrazas están limitados no sólo por la distancia entre ejes y anchura, sino por la estabilidad de los mismos,

Angulo (en grados)	Tipo de material
33	Arenas secas
35-40	Cantos rodados y guijarros
35-40	Suelos francos, arenoso-arcillosos, buen drenaje
70-90	Rocas consolidadas
50-80	Arcillas compactadas con buen drenaje
5-20	Arcillas no compactadas y saturadas de agua
35-50	Arenas compactadas con cobertura vegetal

No debe considerarse esta tabla u otras similares, más que a corto plazo en climas climáticamente frágiles, pues tomar al pie de la letra estos valores en las carreteras españolas, ha llevado a situaciones en las que la estabilidad del talud previsto a largo plazo, (resistividad), se resiente al no tener la misma reversibilidad que en climas húmedos (donde normalmente se han desarrollado estos criterios). O sea, que al llover torrencialmente y estar en climas secos, donde la vegetación no ha tenido facilidades para implantarse de modo estable, por disponer de una precipitación aparente pírrica, la estabilidad física de los materiales es vencida por la acción agresiva de la lluvia, que no encuentra raíces que defiendan contra su capacidad erosiva y de arrastre. El no haber considerado esta circunstancia en los proyectos de construcción, ha llevado al actual desastroso estado de los taludes de nuestras carreteras y autovías. En una ladera sin embargo, con el tiempo los taludes se erosionan y en décadas dejan de ser apreciables.

En cuanto a su longitud, viene limitada tanto porque una magnitud excesiva daría lugar a peligrosas concentraciones de agua, amenazando con su rotura, como porque un volumen creciente de evacuación a lo largo del canal precisaría un dimensionamiento excesivo de este.

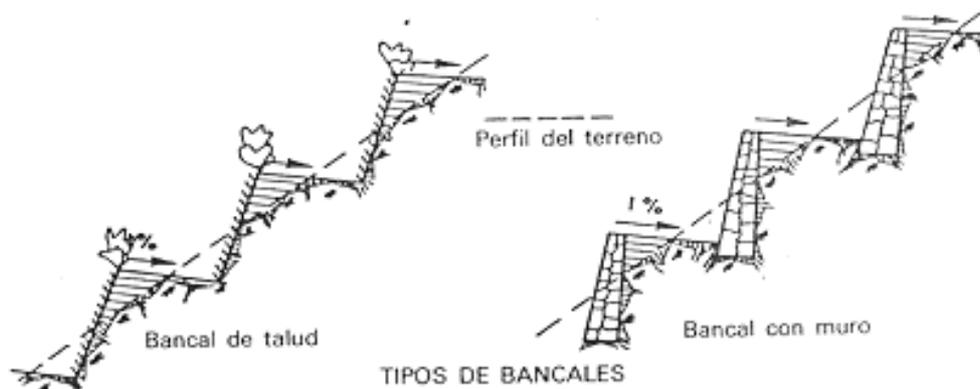
*Beasley* (1958), propone como orientación:

Longitud de la terraza	Pendiente máxima en suelos (%)	
	Erosionables	poco erosionables
30 m	2,00	2,50
60 m	1,00	1,50
100 m	0,50	0,65
150 m	0,35	0,50

Mención especial merecen los banales, cuyo uso se remonta a la antigüedad, y ya lo utilizaban las culturas milenarias como la China, Inca y los diferentes pueblos mediterráneos. De hecho impresiona la extensión de esta práctica en Cataluña, Levante y Baleares. Es una medida costosa en construcción y mantenimiento, pero de absoluta eficacia y estética.

La anchura de un banal viene determinado tanto por la naturaleza del suelo y su profundidad, como por la pendiente del terreno. El movimiento de tierras que implica que cuanto menor es el perfil edáfico transformable, menor será la anchura, que en el límite depende casi exclusivamente de la pendiente. Por el contrario, cuando la profundidad del suelo no es limitante, se considera que el volumen de desmonte para abancalar una hectárea no debe superar los 2.000 m<sup>3</sup>. Como valores óptimos, se estima una anchura entre 15 y 50 metros en cultivos convencionales, pudiéndose reducir a 8/10 en frutales. Su longitud está condicionada por la topografía y las exigencias de riego, y lo recomendable es entre 100 y 250 metros, con una pendiente longitudinal entre el 0,5 y 0,8%.





En cualquier caso, es conveniente para la estabilidad de la construcción no olvidar que la causa más importante del deterioro de cualquier obra civil es el agua. Por ello hay que cuidar que la retención de agua que provocan las terrazas no sea excesiva y rompa los perfiles. Así es especialmente importante disponer los desagües para drenar los excedentes, evitando la erosión (impidiendo que el agua que circula por ellos tenga excesiva capacidad de transporte, o sea energía cinética, o sea caudal).

Material	Velocidad límite no erosiva
Arena fina	< 0,3 m/sg
Arena gruesa	0,45-0,6 m/sg
Arcilla con grava	1,2-1,5 m/sg
Encachado de piedra	1,8-2,5 m/sg
Roca	3-4 m/sg
Hormigón	4,5-6 m/sg

La utilización de estas técnicas de contención de suelos debe regirse por “A grandes males, grandes remedios”, pues es una medida extrema que tiene importantes consecuencias en el aprovechamiento del agua por el medio, capacidad erosiva del escurrimiento, éxito en la regeneración o cultivo, y reducción de costes, pero que tiene también efectos negativos, principalmente paisajísticos. No es una práctica popular, pero como en todos los casos, aplicada adecuadamente (dónde, cómo, cuándo y cuánto), y justificada cuantitativamente en cuanto a sus efectos, debe ser una acción técnicamente decidida.

En zonas de cárcavas y barrancos, si es posible meter maquinaria, es más que recomendable romper el perfil creado para evitar su avance con terrazas, y es una alternativa especialmente recomendable.

- Repoblación

No olvidando que no se pretende (y normalmente no se puede), regenerar el ecosistema hasta el clímax, sino hasta una situación intermedia suficiente para reiniciar la progresión del ecosistema desde una base sólida, la elección de especies es una tarea que precisa de conocimientos ecológicos, y para ello disponemos de las herramientas ya descritas:

- identificación de la vegetación potencial
- clasificaciones fitoclimáticas y corológicas
- índices bioclimáticos
- conocimientos botánicos
- etc...

Pero en general hay que considerar que la repoblación está condicionada por la fragilidad y la productividad del medio, **actuales, que no potenciales**, además de por el presupuesto disponible. No debe plantearse como una restitución de la clímax, sino de las condiciones suficientes para promover la máxima progresión a un coste asumible. Desde el momento en que las productividades potenciales y degradadas no coinciden como consecuencia de los procesos sufridos, es por definición poco recomendable una repoblación de la vegetación climática potencial (las condiciones del biotopo y los presupuestos son normalmente las que son y no las que desearíamos que fueran).

### *Zonas húmedas*

Especie	Características favorables a la estabilidad del suelo	Otros aspectos
Haya	Evapotranspiración elevada	Crecimiento lento
	Grado de intercepción de la lluvia bueno	Requiere protección de otras plantas cuando es joven
	Sistema radical profundo	Difícil de conseguir una progresión rápida
	Fertiliza el suelo	Gran valor estético
Roble	Evapotranspiración elevada	Crecimiento lento
	Grado de intercepción de la precipitación bueno	Requiere algo de protección de otras plantas al crecer
	Sistema radical profundo	Valor estético
	Suficiente experiencia en su comportamiento selvícola	
Abeto	Fertiliza el suelo	
	Evapotranspiración media	Crecimiento lento
	Grado de intercepción de la precipitación elevado	Valor estético
Pino	Sistema radical profundo	Requiere protección de otras plantas cuando es joven
	Evapotranspiración media	Sistema radical somero
	Intercepción de la precipitación bastante elevada	Poco exigente con el suelo
Eucalipto	Fácil de implantar y experiencia en su selvicultura	Humus de buena calidad
		Sensible al frío y las heladas
	Crecimiento rápido	No fertiliza el suelo
	Evapotranspiración elevada	Aspecto estético no coincidente con los gustos actuales
	Sistema radical profundo	Humus deficiente
	Brota de cepa	Muy sensible al frío y heladas
	Grado medio de intercepción de la lluvia	
	Fácil de plantar y experimentado	

## Zonas semiáridas y áridas

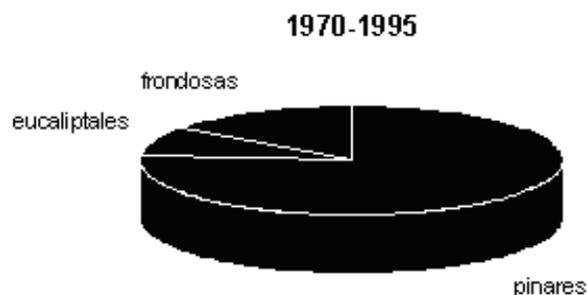
Especie	Características favorables a la estabilidad del suelo	Otros aspectos
Pino carrasco	Vive en con muy escaso suelo e inhóspitos	Se adapta a situaciones edáficas extremas
	Aguanta suelos sobre margas arcillo-yesosas	Se adapta a cualquier tipo de relieve
	Gran resistencia a la sequía	Se adapta casi a cualquier altitud
	Necesita mucha luz	Se adapta a climas de gran aridez
	Sistema radical muy adaptable	Alto valor estético
	Escasa transpiración	
	Sistema foliar claro	
	Crecimiento relativamente rápido	
	Permite sotobosque denso	
Carácter colonizador		
Pino resinero	Sistema radical fuerte	Se adapta a cualquier tipo de relieve
	Resiste la sequía	Se adapta casi a cualquier altitud
	Necesita mucha luz	Se adapta a cualquier suelo, pero prefiere los silíceos
	Crecimiento rápido	
	Carácter colonizador	
Pino piñonero	Sistema radical muy extendido	Alto valor ornamental
	Gran resistencia a la sequía	Especialmente útil en suelos arenosos
	Necesita mucha luz	
	Vive en suelos muy secos y arenosos	
	Se adapta y fija dunas	

(Mintegui y López Unzu, 1990)

Por ello es preferible la repoblación con especies poco exigentes, de:

- *Gran estabilidad* (uno de los factores de la estabilidad es que sea autóctono, pero no el único, y puede haber otros que primen con mayor peso)
- *Buena cobertura*, por lo que es preferible la hoja perenne a la caduca, que cubre el suelo el doble al hacerlo durante todo el año
- *Escasa fragilidad*, principalmente en lo que se refiere a riesgo de incendio
- *Fácil, barata y experimentada* repoblación
- *Interés socioeconómico* para el entorno

Por ello las repoblaciones de este tipo suelen realizarse con pinos, que a pesar de que cumplen las demás condiciones, presentan una vegetación asociada de alto peligro de incendio (si bien menor que el matorral, y en cualquier caso compensable si la producción genera una riqueza que permita la adecuada limpieza del sotobosque, y sobretodo el interés de la población). De cualquier modo, la determinación de la especie a utilizar es un criterio técnico, aunque a veces desde posiciones voluntaristas pero poco útiles, duela.



En general, lo que presenta una solución más equilibrada y de largo plazo, es la repoblación por fases, introduciendo la competencia primero en matorral y luego en bosque de especies normalmente del género quercus. En la España semiárida, estos tratamientos son efectivos una vez han pasado entre 20 y 40 años desde la primera repoblación, y no es realista en coste ni efectividad el pretender saltarse más de lo posible los pasos de la progresión. La silvicultura mediterránea tiene el factor limitante del agua (tanto en disponibilidad como en la erosión), a diferencia de la centroeuropea que está limitada por la luminosidad.

Si se quiere asegurar el éxito de la repoblación, además de elegir adecuadamente las especies, es conveniente preparar el suelo, tanto si se han utilizado terrazas como si no, principalmente en zonas semiáridas (binas o remoción del suelo durante los primeros años, para favorecer la infiltración y reducir la competencia entre especies).

*Bonfils* (1978) propone un criterio valorable respecto al grado de acción sobre el suelo para que la repoblación tenga éxito. Se basa en establecer clases de aptitud del suelo valorando de 1 a 10 cada uno de los factores del suelo limitantes, desfavorables y favorables. Pretender repoblaciones exitosas sin acción sobre el suelo puede ser carísimo (es decir, probablemente fracasen), de no seguir criterios técnicos.

#### *Factores favorables*

Valor	10	9	8	7	6	5
Pendiente (%)	< 5	5-10	10-25		25-35	
Profundidad (cm)	> 80	60-80	40-60		30-40	
Reserva agua (mm)	> 120	90-120	60-90		45-60	
Fisuración de roca Profundidad (cm)						> 60
Textura					franca o media	
Gruesos (mm)						guijarros < 10
Salinidad (mmhos)						0-2
Erosionabilidad	> 5		3-5		1-3	< 1
Humus						
Drenaje						bueno
Hidromorfía (cm)						no
Capa freática (cm)						no
Caliza (%)						< 1
Aterrazado		terrazas anchas		terrazas anchas		
Exposición		Norte		Sur		

*Factores desfavorables(2,3 y 4), limitantes (0 y1) y absolutamente limitantes (x0)*

Valor	4	3	2	1	0	x 0
Pendiente (%)	35-50				50-100	> 100
Profundidad (cm)	20-30				< 20	
Reserva agua (mm)	30-45				< 30	
Fisuración de roca	muy alterada	algo alterada		poco alterada	roca dura	roca en superficie
Profundidad (cm)	20-60	20-60		20-60	20-60	
Textura	limosa	arenosa	arcillosa			
Gruesos (mm)	guijarros 10-20	guijarros 20-30	guijarros 30-50	pedras 50-80	bloques > 80	afloramientos rocosos
Salinidad (mmhos)			2-4	4-6	6-8	> 8
Erosionabilidad	laminar	surcos	regueros		barrancos	abarrancada
Humus						
Drenaje				algo excesivo	excesivo	
Hidromorfía (cm)	> 50	25-50	< 25			
Capa freática (cm)					25-50	< 25
Caliza (%)	1-10		10-25	25-50	50-75	> 75
Aterrazado			discontinuas	estrechas	ausencia	
Exposición						

(debe considerarse una de dos: gruesos o salinidad)

(limitante absoluto implica directamente suelo no apto)

La suma de cada valoración parcial de aptitud, resulta una valoración total (N), que define el entorno de posibilidades de actuación sobre el suelo:

Suelos	Clase	Limitaciones	N	Nivel de acción	Tratamiento
Aptos	Muy aptos	Sin	> 60	variable/elevado	laboreo, fertilización, desbroce
	Medios	Textura, pedregosidad	50-60	bajo	profundización, desbroce
	Marginales	Hidromorfía, profundidad	40-50	medio	drenaje, avenamiento, profundización
Condicionados	Aptos	Relieve, roca, profundidad	35-40	medio/elevado	profundización, abancalamiento
	Marginales	Relieve, profundidad, agua	30-35	elevado	profundización, aterrazado
No aptos	Actualmente	factores desfavorables	20-30	muy elevado	aterrazado, repoblación
	Nunca	factores absolutos	< 20	-	conservación, defensa

(la profundización, implica laboreo profundo y destrucción física de la roca madre con maquinaria tipo ripper)

Para evitar que en los primeros años, la escasa cobertura del repoblado joven facilite la erosión, y facilitar al mismo tiempo que unas plantas se protejan a otras, es recomendable una espesura lo más cerrada posible, (se suelen manejar cifras del orden de las 300 a las 3000 plantas/hectárea dependiendo de la especie y de los

factores abióticos del medio), aunque ello provoque más adelante la necesidad de claros y claros. (En condiciones normales, y respetando la legislación, éste es el origen de los árboles de Navidad que pueden venderse sin raíces. No es ningún atentado contra el Medio Ambiente ni nada por el estilo, si su procedencia es esa).

La erosión eólica se produce en pendientes desertificadas de los climas semiáridos o incluso en llano de ecosistemas más frágiles áridos. De nuevo la regeneración drástica de la cubierta vegetal puede ser la solución. Merece mencionarse la repoblación de barreras cortaviento con especies de hoja perenne, sobretodo si se puede seguir aprovechando agrícolamente el terreno.

- **Plantación**

A utilizar cuando es preciso suplir la falta de cubierta de suelo en cuanto a materia orgánica y fijación de las semillas, lo cual puede suceder en terrenos extremadamente degradados de muy fuertes pendientes, como cárcavas y terraplenes de carreteras.

Estas técnicas de plantación se conocen con el nombre de “mulch”, que es una cubierta que sustituye o complementa la natural del suelo, con el fin de protegerlo contra el arrastre y dar a las semillas una opción a estabilizarse y crecer.

Se emplean materiales diversos de fijación de materia orgánica y semillas:

- vegetales: restos de cosechas, estiércol, virutas, hojarasca,...
- minerales: gravas, pizarras, arena,...
- productos industriales: látex, plástico, asfalto,....

Sus efectos beneficiosos se extienden no solo al éxito de la plantación en muy difíciles circunstancias, sino además a aumentar la infiltración, disminuyendo la temperatura del suelo y en consecuencia la evaporación, incrementando la actividad microbiana y reduciendo la salinidad.

Sin embargo por sus efectos perjudiciales y coste, es recomendable utilizarlo tan solo en casos extremos, como los taludes de carreteras, pues favorece la extensión de malas hierbas, plagas, riesgo de incendios, y provoca una gran demanda de nitrógeno en detrimento de las necesidades de las plantas que se pretende instalar.

Estas técnicas son combinables entre sí, y a su vez con trabajos de mejora y promoción natural de la vegetación existente, pero son el grado de desertización y la fragilidad, las variables a considerar para su utilización. Atendiendo al factor limitante más general en la Cuenca Mediterránea para los procesos de degradación: la **erosión**, la distribución geográfica de las acciones alternativas y/o complementarias a realizar con criterios estrictamente técnicos, podrían resumirse (sólo en modo genérico y con todas las reservas en la consideración de cada caso), en:

Pendiente	Vocación	Vegetación	Suelo	Condicionantes	Actuaciones
> 30 %	forestal	arbolado denso	cualquiera	bosque protector	Conservación (valor ecológico o fragilidad elevado)
				bosque productivo	Aprovechamiento (resto de los casos)
	forestal	matorral denso	cualquiera	no degradado	Conservación (valor ecológico o fragilidad elevado) Conservación y aprovechamiento cinegético

					Transformar paulatinamente en bosque denso
	forestal	arbolado claro	cualquiera	matorral no degradado	Transformar paulatinamente en bosque denso
				matorral degradado	Reforestar para conseguir antes el bosque denso
			degradado	matorral degradado	Reforestar para conseguir antes el bosque denso
	forestal	matorral degradado	cualquiera		Reforestar
				eriales	Regular o prohibir el pastoreo
					Regular o prohibir el pastoreo
					Reforestación
					Repoblación
					Aterrazado y repoblación
	forestal	pastizales	erosionable		Aterrazado y repoblación
			no erosionable		Reforestación
					Regular o prohibir el pastoreo
	forestal	cultivo	escaso	marginal por necesidad	Aterrazado y repoblación
					Reforestación
					Abancalamiento
12-30 %	forestal	arbolado denso	cualquiera	protección	Conservación
		matorral denso		producción/protección	Aprovechamiento de madera y/o cinegético
		arbolado claro		matorral no degradado	Mejora paulatina de la espesura
	forestal	arbolado claro		matorral degradado	Reforestación
		matorral			Regular o prohibir el pastoreo
			degradado	erial	Creación de pastizales
					Aterrazado y repoblación
					Reforestación
	forestal	pastizal	erosionable		Aterrazado y repoblación
					Reforestación
					Regular o prohibir el pastoreo
	pastos		no erosionable		Conservación y adecuación
					Mejora y planificación de producción
	forestal	cultivo	somero / pobre	marginal por necesidad	Aterrazado y repoblación
					Reforestación
	pastos				Creación y conservación de pastizales
	agrícola		no degradado		Cultivo con prácticas de conservación
			degradado		Creación y conservación de pastizales
					Reforestación
< 12 %	forestal	bosque denso	riberas, páramos, zonas inundables, pedregales, somero, pobre		Conservación
		bosque claro			Aprovechamiento: madera, caza, frutos, corcho, resina,...
		matorral denso			Mejora paulatina de la espesura
		matorral degradado	degradado		Reforestación
	pastos		no degradado		Mejora del matorral
					Regulación del pastoreo

			cultivos abandonados	Creación y conservación de pastizales
agrícola				Cultivo con prácticas de conservación
				Cultivo racional
pastos	pastizal			Mejora y planificación de pastizales
agrícola	pradera			Cultivo racional
agrícola	secano	degradado	situaciones extremas	Reforestación o creación de pastizales
		no degradado		Cultivo con prácticas de conservación
		profundo		Cultivo racional (enmiendas, rotaciones, abonos,...)
	regadío			Técnicas de regadío racional

(la tabla considera sólo casos en los que es necesario o posible actuar, no en aquellos donde la vocación no sea la adecuada pero ello no conduzca a procesos regresivos, como pueda ser un terreno de vocación agrícola dedicado a bosque)

Una actuación drástica en el medio debe evaluarse no sólo considerando las variables directas de degradación (fragilidad y productividad), y socioeconómicas (intereses particulares y colectivos), sino además las indirectas no consideradas en el esquema descrito (ecológicas, culturales, riesgos de daños,...). Al existir impactos positivos y negativos, para justificar una inversión y un sacrificio socioeconómico, es recomendable utilizar técnicas de evaluación de impacto en la que se consideren no sólo las variables directas manejadas hasta aquí, sino aquellas otras indirectas del medio natural o social no incluidas en la metodología. Para ello es útil referirse a esquemas y criterios de evaluación de impacto como la de *Leopold*, de amplio uso y conocimiento en nuestro país, y sobre las que existe abundante bibliografía y experiencia.

Hay que tomar en consideración las consecuencias de las acciones posibles en aquellas variables no consideradas:

- Medioambientales, pues la biodiversidad no es un parámetro que pueda contemplar a la perfección algo tan complejo como el valor de un ecosistema en toda su dimensión (aunque sí estimarlo), y puede dejar circunstancias a considerar fuera.
- Perjuicios económicos, daños catastróficos, pérdida de renta rural, disminución de la capacidad de almacenaje de agua,...
- Riesgos de incendio, inundación, plagas,...
- Disponibilidad de recursos para las personas: madera, resina, agua, leñas, ocio, salud,...
- Culturales, ya que las costumbres de cada región deben ser tomadas muy en consideración para el éxito de las acciones planteadas

Para detener los procesos de desertización sólo existe un método: la Planificación de los Aprovechamientos (**dónde, cómo, cuánto y cuándo**), con criterios de producción constante, y la adaptación de las necesidades de consumo humano al medio. Para invertir el proceso, es preciso además actuar tanto más drásticamente cuanto mayor es la degradación provocada, y también tiene pocas posibilidades de acción: repoblación y conservación de los bosques, donde la vocación del terreno no permita otro uso.

Los “*cow boys*” del Oeste Americano, al llegar no encontraron los paisajes que ahora estamos acostumbrados a ver en las películas, entonces el ganado era fuente de riqueza pues eran productivos en las praderas. Los paisajes que ahora se recrean en los

telefilmes son los que han creado con su trabajo. Ahora la extensión de desierto en esa zona es al menos tantas veces superior como siglos han pasado, y su oficio está siendo subvencionado por el Gobierno pues la productividad de los pastos que se siguen usando se ha reducido y en muchas ocasiones ya no es tan solo suficiente para vivir.

*El hombre no puede vivir donde las flores degeneran (Napoleón).*

## IMPACTO, RIESGOS Y COSTES

Las variables descritas y medidas causa-efecto hasta aquí, se refieren a los procesos de regresión, degradación y desertización; pero la dinámica natural es en si misma más compleja que todo ello, por eso en el proyecto de un nuevo uso, o de la planificación de lucha contra la desertización hay que tener en cuenta aspectos del conjunto natural y humano. El **efecto** pasa a ser considerado a partir de esta fase de análisis como **causa**. Para completar un adecuado plan de acción, o para proponer un nuevo uso, hay que tener una visión global de las consecuencias indirectas, y por ello es necesario un **Análisis de Impacto**:

- *ambiental*
- *social*
- *económico*
- *recursos*
- *riesgos*

Las acciones cuyos efectos deben analizarse se refieren tanto a:

- *propuestas de uso del espacio o de los recursos*
- *mantenimiento de usos tradicionales o actuales*
- *actuaciones posibles de lucha contra la desertización*

y debe contener una valoración objetiva de dos y relativa entre dos de los anteriores casos, de las consecuencias directas e indirectas en ambos. Es inoperante pretender actuar sin impactos negativos, por lo que de nuevo la medida comparada de las consecuencias de la actuación será la base de la opinión o decisión.

De entre las diferentes metodologías existentes, que ordenan, estandarizan y sistematizan el análisis, describiremos aquí la de *Leopold* (1971), introducida en España por *Ramos* (1979), por ser la que más se adecua al permanente enfoque de esta exposición: **causa-efecto**, y además puede aplicarse geográficamente. En ella consideraremos las **actuaciones** sobre el medio y sus recursos, que:

1. *puedan repercutir sobre la degradación*
2. *se produzcan por perseverar en un uso tradicional o moderno*
3. *se planteen como de lucha contra la desertización*

### Acciones que pueden causar efectos ambientales

#### *A Construcción*

*a Urbanización, edificios,...*

*b Autopistas, caminos, puentes, raíles,...*

### Características susceptibles de degradarse

#### *A Valor intrínseco*

*1 Capacidad*

*a Biomasa*

	<i>c Cables, elevadores, líneas, tuberías,...</i>		<i>b Productividad neta</i>
	<i>d Diques, presas y embalses</i>		<i>c Biodiversidad</i>
	<i>e Canales, desvíos, dragados,...</i>		<i>d Paisaje</i>
	<i>f Pistas de esquí, deportes de montaña,...</i>		<i>e Madurez ecológica</i>
	<i>g Pozos, túneles, minas,...</i>		<b>2. Fragilidad</b>
<b>B. Industria</b>			<i>a Agresividad/Resistividad</i>
	<i>a Emisión de gases</i>		<i>b Reversibilidad</i>
	<i>b Combustión</i>	<b>B Riesgos</b>	<i>a Incendios</i>
	<i>c Utilización de leñas</i>		<i>b Plagas</i>
	<i>d Vertidos a la red hidrográfica</i>		<i>c Inundaciones</i>
	<i>e Vertederos, almacenaje, filtraciones,...</i>		<i>e Pérdida de productividad</i>
<b>C Agricultura</b>		<b>C Disponibilidad de recursos</b>	
	<i>a Cambio de cultivos</i>	<b>1 Agua</b>	<i>a Reservas para el consumo humano</i>
	<i>b Rotación, barbechos,...</i>		<i>b Lluvia aparente para las plantas</i>
	<i>c Abonado y/o fertilización</i>		<i>c Calidad de las aguas</i>
	<i>d Pesticidas, herbicidas,...</i>		<i>e Eutrofización</i>
	<i>e Técnicas de riego</i>	<b>2 Alimentos</b>	
	<i>f Drenajes</i>		<i>a Producción agrícola</i>
	<i>g Modificación del suelo</i>		<i>b Producción ganadera</i>
	<i>h Arado y preparación del suelo</i>	<b>3 Necesidades</b>	
	<i>i Setos, zanjas, fajas,...</i>		<i>a Leñas</i>
	<i>j Aterrazado, abancalamiento,...</i>		<i>b Frutos, resinas,...</i>
	<i>k Quema de rastrojos</i>		<i>c Madera</i>
	<i>l Pastoreo</i>	<b>4 Bienestar</b>	
	<i>m Abandono</i>		<i>a Turismo, deportes, recreo</i>
	<i>n Reforestación</i>		<i>b Salud</i>
<b>D Ganadería</b>			<i>c Ciencia</i>
	<i>a Racionalización de la carga</i>	<b>C Interés social</b>	
	<i>b Sustitución de especies o razas</i>		<i>a Trabajo</i>
	<i>c Creación y mejora de pastizales</i>		<i>b Riqueza local</i>
	<i>d Prados de siega</i>		<i>c Desarrollo</i>
	<i>e Estabulación parcial</i>		<i>d Cultura</i>
	<i>f Vallado</i>		<i>e Formación</i>
	<i>g Erradicación del pastoreo</i>		<i>f Infraestructuras</i>
	<i>h Regeneración por fuego</i>		<i>g Comunicaciones</i>
	<i>i Reforestación</i>	<b>D Interés económico</b>	
	<i>j Roturación</i>		<i>a Productos</i>
	<i>k Abandono</i>		<i>b Precios</i>
	<i>h Aterrazado</i>		<i>c Industria</i>
<b>E. Aprovechamientos forestales</b>			<i>d Renta</i>
	<i>a Extracción de madera</i>	<b>E Conservación del patrimonio</b>	
	<i>b Resinas, frutos,...</i>		<i>a Natural</i>
	<i>c Claras, limpieza del sotobosque,...</i>		<i>b Cultural</i>
	<i>d Ordenación selvícola</i>		
	<i>e Repoblación</i>		

<i>f Puesta en luz, regeneración</i>		<i>c Histórico</i>
<i>g Utilización recreativa</i>	<i>F Otros</i>	
<i>h Introducción de especies</i>		
<i>i Incendios</i>		
<i>j Cortafuegos</i>		
<i>k Infraestructuras</i>		
<i>l Ordenación cinegética</i>		
<i>m Pastoreo</i>		
<i>n Conservación y protección</i>		
<i>F Conservación y espacios protegidos</i>		
<i>a Usos recreativos</i>		
<i>b Controles biológicos</i>		
<i>c Modificación del hábitat</i>		
<i>d Caza y pesca</i>		
<i>e Extracción de recursos forestales</i>		
<i>f Pastoreo</i>		
<i>g Repoblación, regeneración,...</i>		
<i>h Infraestructuras</i>		
<i>i Incendios</i>		
<i>G Accidentes</i>		
<i>H Otros</i>		

Cada autor define una clasificación de acciones e impactos, adaptada a su entorno de trabajo, y esta no es más que una referencia sujeta a modificaciones según los casos, que lógicamente sólo tiene la intención de ser un guión orientativo al que se le pueden añadir, subdividir, agrupar o eliminar causas y efectos, según sea el planteamiento.

- La metodología contempla las siguientes fases:
  - Distinguir geográficamente zonas homogéneas físicas (en fragilidad, productividad, capacidad, vocación,...), y de actuación. Puede realizarse la evaluación de impacto por cada alternativa de actuación y estrato homogéneo, o bien ponderar en el conjunto los distintos espacios considerados.
  - Puede ser útil realizar este trabajo cartográfico con un GIS (sistema de tratamiento de la información geográfica).
  - Identificar todas las acciones de cada alternativa posible, y crear una matriz con cada opción.
  - Calificar en una escala de 1 a 10 para cada acción posible
    1. *magnitud (intensidad)*
    2. *importancia (extensión)*
 de la alteración de cada característica

El análisis será tanto más sólido cuanto más objetiva sea la cuantificación, y más útil por desgracia, si está expresado en pesetas.

- Disponer esta información en un cuadro esquemático, que contemple tan solo aquellas acciones y consecuencias afectadas por las acciones propuestas.

<b>Alternativa k</b>	<i>Efecto j</i>
<i>Causa i</i>	magnitud / importancia

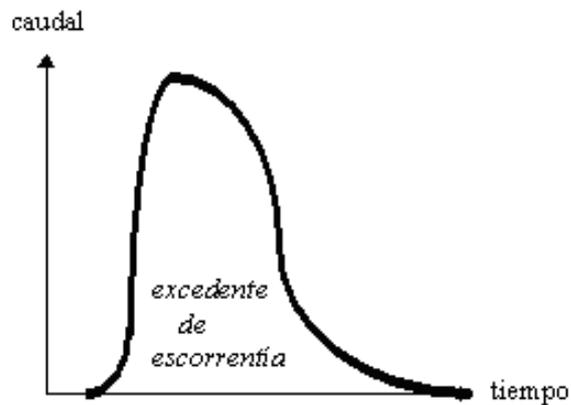
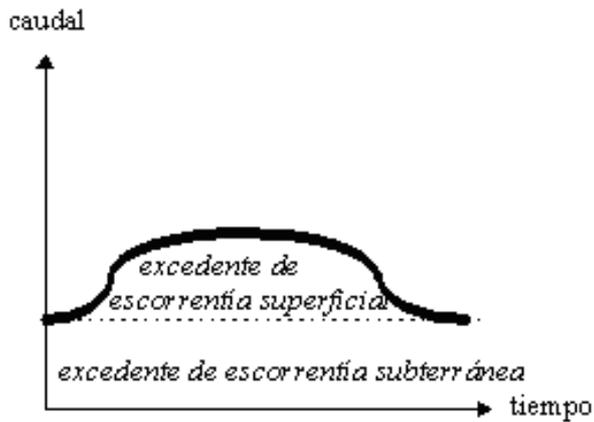
- Calcular la media y desviación típica de los valores magnitud e importancia en cada columna o fila, con el fin de obtener una graduación de causas y otra de efectos.
- Seleccionar los cuadros, filas y columnas de mayor peso específico. Describir y justificar cada uno de los cuadros afectados, y si es posible hacerlo cuantitativamente. Es recomendable para cada impacto de entidad construir una segunda tabla en la que se describa:
  - *beneficioso o adverso*
  - *directo o indirecto*
  - *temporal o permanente*
  - *reversible o irreversible*
  - *recuperable o irrecuperable*
  - *sinergia o acumulación*
  - *afecta o no a recursos protegidos*
  - *probabilidad de ocurrencia*
  - *etc...*

La medida de los impactos posibles de las acciones de lucha contra la desertización es lo que da fuerza a los argumentos, sobretudo si la unidad es la peseta, por lo que es destacable considerar las pérdidas económicas que implica la no adopción de las acciones, como argumento de identificación de la importancia del trabajo a realizar. Estas están directamente relacionadas con la modificación del papel regulador del agua que tienen los ecosistemas, o sea con la extremización del régimen hidrológico.

Conforme disminuya la cantidad y calidad de la biomasa vegetal (aumenta la fragilidad y disminuye la productividad), del ecosistema: la transpiración, interceptación, evaporación e infiltración también disminuirán, lo que para el inexorable cumplimiento del Balance Hídrico, la precipitación aparente para las plantas se reducirá, incrementándose la escorrentía superficial generada en cada punto, y por lo tanto el caudal (precipitación aparente para las personas). Mal negocio, pues la fragilidad del ecosistema es mayor al desaprovechar parte de la lluvia y destinarla a efectos contrarios a la productividad del biotopo.

Por si ello no fuera suficiente, los excedentes que en cualquier caso hay, se concentrarán en menos tiempo, pues al disminuir la escorrentía subterránea, (que a través de fuentes y

manantiales drena sus excedentes a la red hidrográfica), se reduce el aporte estable de estos al caudal. No sólo se incrementa el excedente de agua, sino que además se reduce el tiempo en el que drena, por lo que el caudal aumenta exponencialmente (el mismo volumen de agua en menos tiempo implica mayor caudal).



Este proceso será más extremo cuanto mayores sean:

- *la torrencialidad: Occidente gallego, Norte del País Vasco, Prepirineo catalán, Sierra Morena, Cuenca Mediterránea,...*
- *la degradación: Levante y Sur*

A ello hay que añadir una consideración orográfica: la concentración será tanto más rápida cuanto más circulares y similares en extensión y forma, sean las cuencas emisoras, y el caudal punta tendrá mayor probabilidad.

El incremento del caudal (volumen de escorrentía por unidad de tiempo), puede causar importantes daños materiales en las rentas de los habitantes que no utilizan directamente los bosques, prados o campos de cultivo, aún ni para uso recreativo:

- *disminución de capacidad productiva directa, y por tanto reducción de la oferta de productos rurales y consecuente aumento de precios, o necesidad de nuevas técnicas y costes para mantener la producción y posible aumento del grado de regresión*
- *pérdidas económicas por inundaciones, tanto en construcción, carreteras, núcleos urbanos, agricultura,...* (las compañías de seguros cobran por este concepto, es decir, el incrementar el riesgo por procesos de desertización cuesta o debiera costar dinero)

- *reducción de la disponibilidad de agua en manantiales y pozos, e incremento consecuente de los precios del agua, necesidad de transporte de la misma hasta donde más escasea y reducción de la capacidad de regadío*
- *pérdida de la capacidad de embalsamiento de agua, pues el incremento de caudal líquido, es directamente un incremento de la capacidad de transporte de materiales, y los embalses cierran su paso.*

Existen diferentes modelos de simulación de hidrogramas en función de las mismas variables del biotopo que definen la fragilidad (Ver Anexo *Transporte del Suelo*), y sabemos en consecuencia como estimar los parámetros hidrológicos que describen la evolución del caudal según el grado de degradación al que se ha llegado: caudales punta y total, tiempos de concentración, punta y base. Pero sólo hemos hablado de la red hidrográfica inicial.

Los diferentes cauces primarios se juntan y los hidrogramas evolucionan en su perfil a medida que bajan por el cauce (se suavizan), y al juntarse con otros se suman sinérgicamente. Existen modelos de conducción y suma de hidrogramas, de gran complejidad de cálculo pues es preciso considerar:

1. *la pendiente longitudinal del cauce*
2. *las secciones transversales del mismo*
3. *el tipo de lecho (rozamiento)*
4. *la forma de cada subcuenca (define el tiempo de concentración)*

Su desarrollo es complejo y existe suficiente bibliografía al respecto, ya mencionada cuando hablamos de los modelos de simulación de caudales (*Métodos de Muskingum, Cunge, Hidráulicos, de las Características,...*), y suelen requerir el uso de ordenadores.

El agua en movimiento encauzado cumple con sencillas leyes: de **Gravedad** (la velocidad del agua depende de la pendiente), y de **Continuidad**, es decir, cae y no se rompe (salvo milagro como el de Moisés). Si no hay aportes adicionales, el caudal es constante sea cual sea la sección transversal del cauce, es decir que si aumenta la sección, disminuye la velocidad, y viceversa.

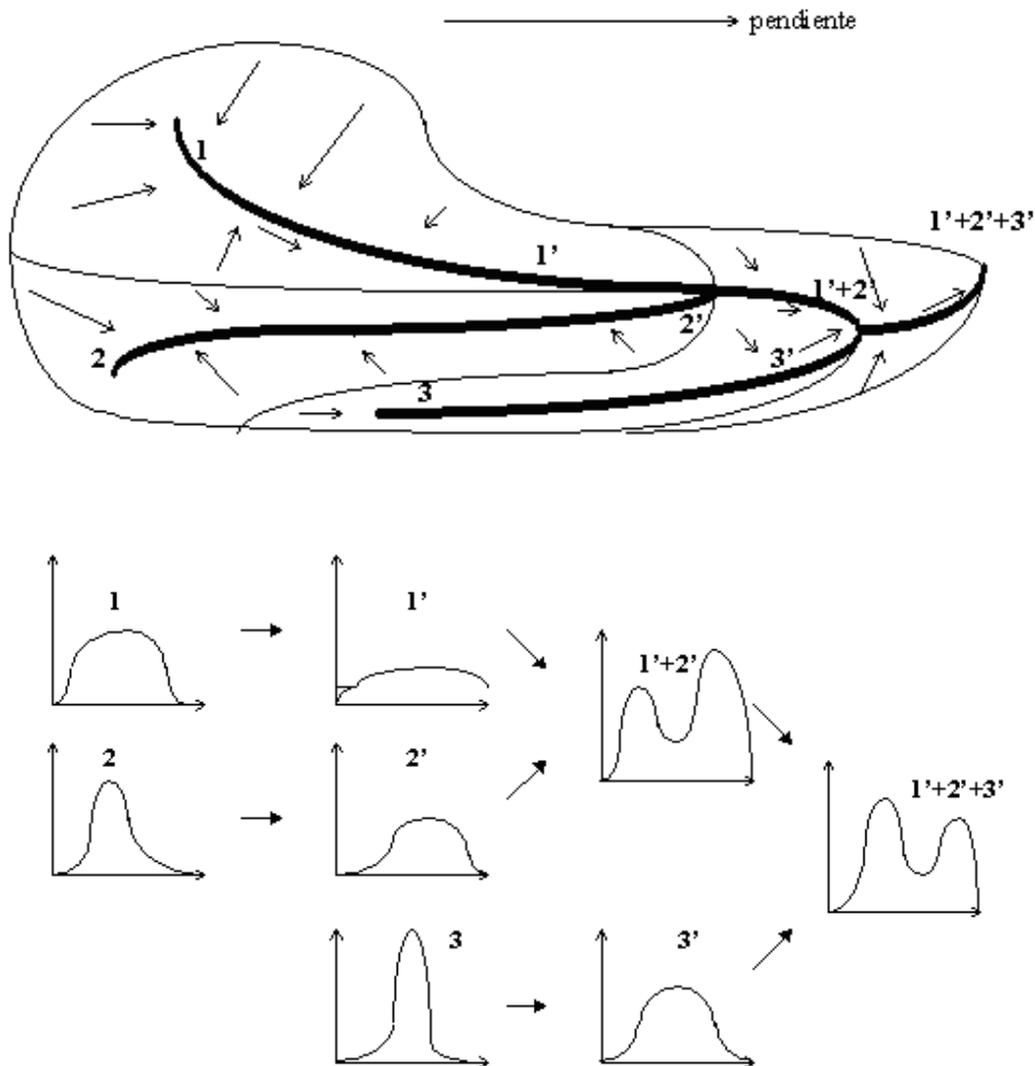
$$\text{caudal} = \text{sección} \times \text{velocidad} = \text{cte}$$

Pero la velocidad no depende del caudal (de la cantidad de agua que baja), sino de la gravedad, y si la sección disponible aumenta, la velocidad será la que provoque la pendiente y el rozamiento del agua al moverse (con las paredes del cauce y entre sí), y para cumplir con la **Ley de Continuidad** la lámina de agua disminuirá su altura y/o transformará su tipo de movimiento (turbulento o laminar). Lo mismo sucederá si aumenta la pendiente y la sección no cambia, pues la velocidad será mayor y el caudal constante.

La sección del cauce la impone la natural adaptación de la orografía a la torrencialidad normal del clima en el que está, por lo que si el caudal para el que se ha formado la red de desagüe aumenta por causa de la degradación, la red no está preparada para drenarlo. Ello puede suceder por tratarse de precipitaciones:

- a. *de muy baja probabilidad (inundaciones las ha habido siempre)*
- b. *de baja probabilidad que, por facilitarles la escorrentía, produzcan un caudal similar (históricamente nunca ha habido tantas inundaciones como ahora)*

A ello hay que añadir que a menor tiempo de concentración, más probable es que coincidan dos caudales punta en el tiempo, y por tanto sea aún mayor el efecto punta del caudal al pasar por una determinada sección del cauce.

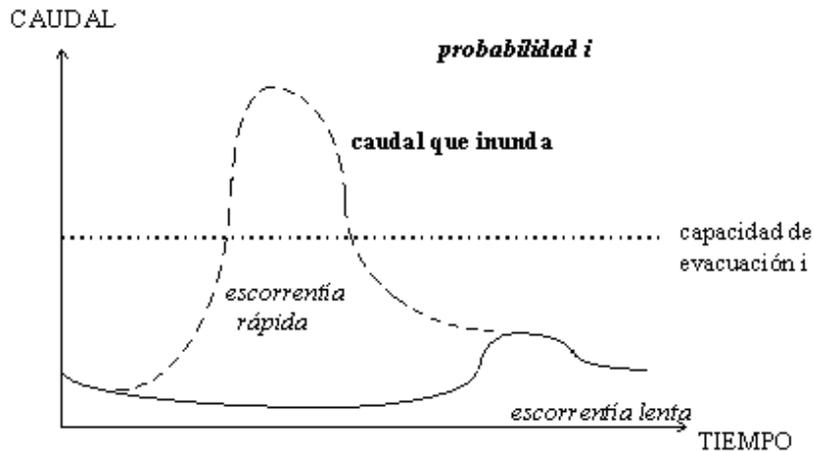


Se ha representado una cuenca hidrográfica ficticia dividida en 4 subcuencas, delimitadas por las cumbres (en línea fina), que rodean los valles por cuyo seno transcurren los cauces (en trazo grueso). Las flechas indican la dirección de descenso del agua de escorrentía superficial. Los hidrogramas suavizan los caudales punta con el tiempo, pero cuando se encuentran y suman, si coinciden en sus puntas, pueden extremar su caudal máximo.

La red evoluciona en sección y pendiente, y las leyes de la física limitan la velocidad del agua, que al fin y al cabo escurre por un cauce inclinado. Donde haya una sección con una pendiente incapaz de drenar el caudal punta a la velocidad necesaria, se desbordará el agua. Ello sucede en secciones estrechas (puentes, barrancos,...) con escasa pendiente debido a que la velocidad está definida por el cauce, y el caudal es constante. O sea, donde también le gusta ubicarse al ser humano, y donde más daño hace.

En resumen, las inundaciones se producen por la coincidencia en un determinado lugar de dos circunstancias:

- i. *aumento y concentración en el tiempo del caudal punta instantáneo generado por precipitaciones de mayor probabilidad*
- ii. *la sección y pendiente no son suficientes para el caudal punta generado en ese mismo punto*



Para evitarlo evidentemente hay que adoptar las mismas acciones que para frenar la degradación, pues es consecuencia de ella, (ordenación de usos y adaptación de la extracción de recursos del medio a su posibilidad) o regenerar lo degradado (aterrazado y/o repoblación y siembra), y así reducir la probabilidad de un caudal crítico, si bien también hay que:

- Separar al máximo el tiempo de concentración de los caudales punta al juntarse, para evitar que coincidan. Ello puede provocar la recomendación de reconstruir ecosistemas con diferentes acciones e incluso en fases sucesivas, para, en función de la forma de cada cuenca hidrográfica, suavizar los hidrogramas al llegar al llano. Es decir, hacer que el crecimiento de los caudales con la escorrentía sea sólo lineal.

Sin entrar en el cálculo de los hidrogramas, puede ser suficiente calcular los tiempos de concentración de las diferentes subcuencas (delimitadas por las líneas de cumbres), y considerando su forma, establecer como criterio acciones diferentes en subcuencas similares.

- Planificar las obras de canalización de cauces teniendo en cuenta los tiempos de concentración y las secciones críticas. No es suficiente con incrementar artificialmente la sección, pues hay que considerar además que:
  - *cuanto menor es el rozamiento (cemento), mayor la energía cinética*
  - *cuanto menor es el recorrido, mayor es la pendiente (desvío por trayectos alternativos)*

en ambos casos se provoca una mayor velocidad de la lámina de agua, que para mantener la Ley de Continuidad (*el agua no se rompe*), necesitará menor sección, pero aumentará:

- *la energía cinética, y por tanto,*
  - *la capacidad de transporte de materiales*
  - *el riesgo de daños al entorno humano*

- *probabilidad de coincidencia de caudales punta*

Como herramientas para asignar probabilidades a inundaciones en puntos determinados de sección y pendiente críticas, y poder en consecuencia considerar estas circunstancias en el proyecto de canalización de cauces, disponemos entre otros del *Método de las Curvas Hidrográficas*, descrito en el correspondiente *Anexo*.

- Construir en la red diques de regulación de caudal que sustituyan el papel de la Naturaleza en la dosificación del agua, suavizando los caudales punta y retrasando su tiempo de concentración. Se disponen generalmente aguas arriba de la red, en secciones del cauce estrechas y los materiales utilizados son por ello los disponibles en lugares tan poco accesibles por la maquinaria: mampostería (en seco, gavionada o de obra).

Su acción es la de crear volúmenes de recogida de caudales que depositen los sedimentos en el vaso y cedan el caudal lentamente a través de aliviaderos al cauce.

Por los mismos motivos que en el primer punto, puede ser recomendable planificar estas construcciones por fases según las subcuencas, para evitar que retrasemos todos los caudales punta al mismo nivel como para provocar que se sumen más tarde.

- Construir embalses, pues además de aumentar la escorrentía superficial, el hombre consume directamente agua de los manantiales y pozos directamente conectados con la reserva subterránea. Su presencia, aunque a veces no excesivamente popular, es imprescindible para que el hombre consuma de los excedentes de agua (de forma análoga a la capacidad productiva del medio, puede pensarse en la capacidad hídrica), y es más imprescindible cuanto mayor sea el grado de degradación, y por tanto disminución de la precipitación aparente para los ecosistemas.

No hay más inundaciones porque llueva más o peor (más torrencialmente), o al menos no es necesario que sea por esta causa. Hay inundaciones porque la lluvia no útil para el medio es mayor (escorrentía superficial concentrada en menor tiempo).

De nuevo reflexionar sobre la inconveniencia de confundir la precipitación aparente a las personas (escorrentía), con la lluvia. *Otoño de 1997; Titular de prensa "Las fuertes tormentas provocan una riada en un barrio pobre de Badajoz. No se sabe todavía cuantos muertos ha producido.* El peligro de ser tan simplista es que no se corrigen las verdaderas causas de una avenida tan extraordinaria: degradación de las laderas de la cuenca vertiente (tal vez muy lejos del barrio), ubicación de las edificaciones y de los vertederos aguas arriba (que actuaron de tapón), históricamente considerado por su media estadística que dice que normalmente no pasa nada, pero sin considerar su desviación típica estadística que dice que el clima es irregular. *Hay que ver que malvado es el tiempo, que pasa de la Pertinaz Sequía al Niño. ¡Excusas!*

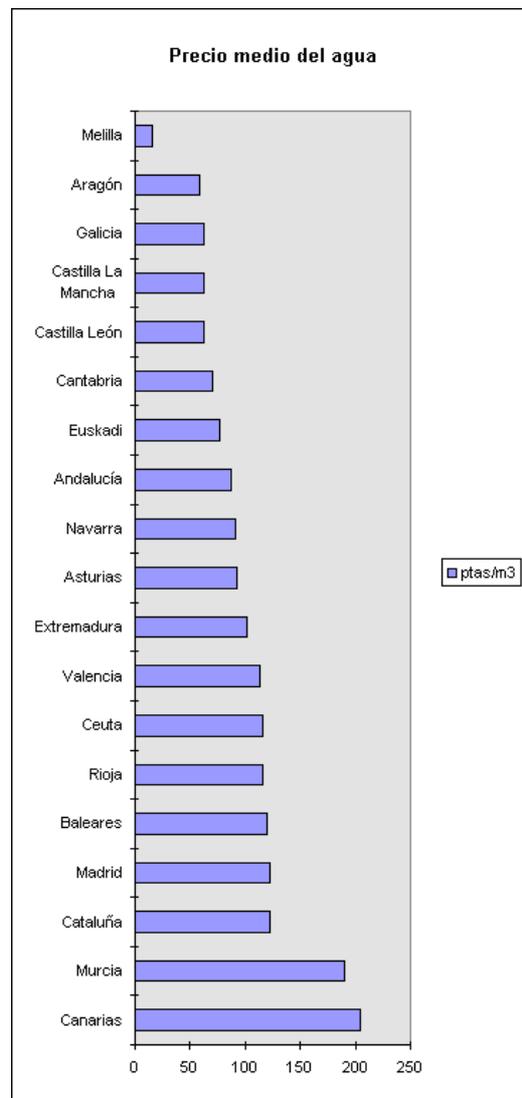
Pero todas las acciones a realizar son caras, y los beneficios son indirectos, o de largo plazo, o sólo se aprecian cuando no existen, así que difícilmente se conseguirán presupuestos para atenuar los impactos de la desertización, salvo que se puedan demostrar. Lo de siempre, hacer ruido está bien, pero sobretodo hay que tocar donde duele: en el bolsillo. La primera metodología de estimación cuantitativa de los rendimientos económicos de los impactos de la desertización en el ciclo hidrológico fue realizada en el INIA (1969) por *J.A Victory, F. López Cadenas y A. Sáez*.

Los daños por inundaciones son un concepto a tener en cuenta en la decisión de las acciones a tomar en la lucha contra la desertización, y ya no es por una productividad a recuperar que puede o no traducirse económicamente, sino por costes directos de no afrontar dichas acciones. Pero no es el único efecto adicional económico (aparte de la

productividad económica agraria, ganadera, forestal, recreativa,...), a considerar en la definición de un criterio de acción: la desertización provoca el transporte de materiales, que normalmente no van todos al mar, sino que quedan en los vasos de los embalses provocando:

- Eutrofización, o combustión anaeróbica de los residuos orgánicos (lodos)
- Disminución de la capacidad útil de agua embalsada

Si somos capaces de cuantificar el aporte de materiales a un determinado punto a través de la medición de la erosión y de la capacidad de transporte de suelo a dicho punto (cierre de una cuenca), seremos capaces de evaluar la pérdida de capacidad del embalse, ya que lo que ocupan los sedimentos no lo ocupa el agua, y el metro cúbico de agua es cada día más caro, por ser cada día más necesario y escaso.



(Ministerio de Obras Públicas, Territorio y Medio Ambiente, 1995)

La velocidad media de aterramiento de un embalse dependerá pues de:

- *densidad de los sedimentos*

- *volumen de suelo transportado*
- *rotación del agua en el embalse*
- *grado de compactación de los sedimentos (que depende de su profundidad)*

y según sea el grado de degradación de la cuenca vertiente será, tal como hemos visto, la velocidad de aterramiento. Así la vida útil de un embalse será menor cuanto mayor sea la degradación, y la inversión económica realizada, menos productiva.

*Sedimentación y vida de embalses españoles (por reconocimiento batimétrico)*

Cuenca	Embalse	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Puesta en carga	C inicial (Hm <sup>3</sup> )	Retención (Hm <sup>3</sup> /año)	Aportes (m <sup>3</sup> /ha año)	Vida (años)
Segura	Talave	754	1918	39000	0,242	3,209	161
Segura	Caramillas	1606	1960	39900	0,404	2,515	99
Tajo	El Torcón	205	1948	4400	0,025	1,219	196
Tajo	Pálmaces	275	1947	32200	0,166	6,036	194
Cataluña Norte	San Pons	292	1957	24700	0,206	7,055	119
Tajo	El Vado	379	1954	57300	0,291	7,678	194
Guadalquivir	Guadalcacín	290	1919	76400	0,261	4,230	292
Guadalquivir	Los Hurones	348	1966	140000	0,210	6,034	666
Tajo	Entrepeñas	3829	1956	891000	3,853	10,063	231
Duero	Linares del Arroyo	756	1951	58000	0,539	7,130	108
Ebro	Yesa	2181	1959	470000	1,295	5,938	363
Duero	Santa Teresa	1988	1960	496000	1,102	5,543	450
Guadalquivir	Tranco de Beas	558	1945	50000	0,792	14,193	631
Ebro	Las Torcas	450	1948	8900	0,173	3,844	51
Segura	Puentes	1042	1884	22100	0,108	0,990	205
Segura	Alfonso XIII	571	1916	36000	0,177	3,095	203
Tajo	Riosequillo	385	1950	48500	0,075	12,998	171
Guadalquivir	Bornos	1361	1961	260000	1,900	13,960	138
Guadalquivir	Doña Aldonza	6000	1955	23000	1,501	2,500	15
Guadalquivir	Pedro Marín	6300	1954	19000	1,125	1,786	17

*(Dirección General de Obras Hidráulicas, Centro de Estudios Hidrográficos, Sección de Hidrología Forestal)*

*Aterramiento de embalses en USA (pérdida anual de la capacidad)*

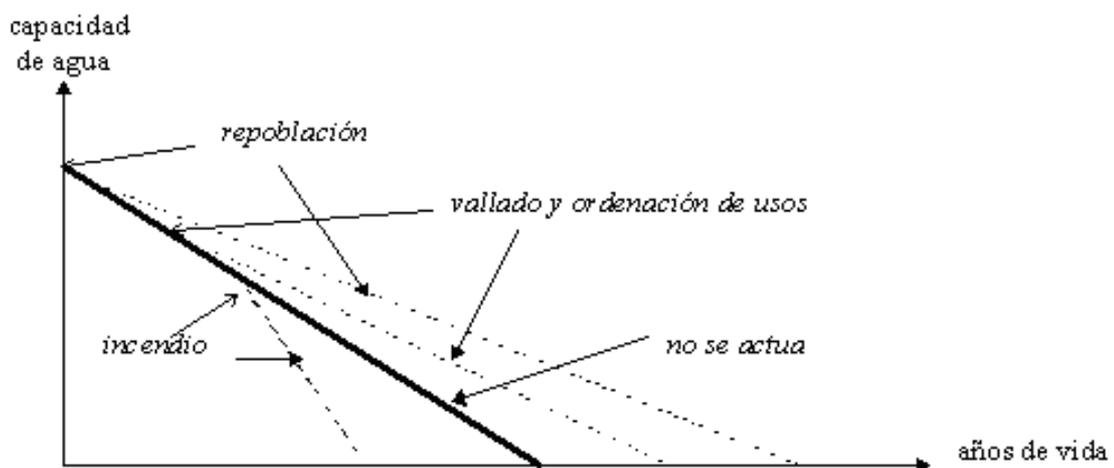
Embalse	Estado	Río	% anual
Lake Michie	North Carolina	Flat	0,36
University	North Carolina	Morgan	1,14
Greensbord	North Carolina	Horse Pen Branch	0,79
High Point	North Carolina	Deep	0,84
Lake Concord	North Carolina	Chambers Branch	0,65
Spartanburg	South Carolina	South Pacolet	2,10
Lloyd Shoals	Georgia	Ocmulgee	0,51
Roger	Texas	Easterly	1,91
Lake Waco	Texas	North Bosque	2,48
White Rock	Texas	White Rock	0,86
Guthrie	Oklahoma	Cottonwood	1,03
Boomer	Oklahoma	Boomer	0,59
Elephant Butte	New Mexico	Grande	0,68
San Carlos	Arizona	Gila	0,47
Roosevelt	Arizona	Arizona	0,41
Lake Woorth	Texas	West Fork Trinity	2,26
Lake Michie Millan	New Mexico	Pecos	1,10
Zuni	New Mexico	Zuni	3,50
Sweetwater	California	Sweetwater	0,70
Lake Cabot	California	San Seandro	0,60
Bibraltar	California	Santa Inés	2,00
Coon Rapids	Minnesota	Mississippi	1,09
New Lake	Texas	Colorado	7,35
Boysen	Wyoming	Bhigorn	6,25
Lake Pamick	Texas	Clar Forkof Brazos	4,47
La Grange	California	Tllolume	2,31
Sterling Pool	Illinois	Rock River	0,82
Keo Kluk	Iowa	Mississippi	2,02
Guernsey	Wyoming	North Platte	1,98
Halas Ber	Tennessee	Tennessee	1,72
Buckhorn	Colorado	Buckhorn	2,64
Cecah	Tennessee	Little Tennessee	0,88
Parkville	Tennessee	Ocoes	1,14

*Aterramiento de pantanos en otros países (en m<sup>3</sup> por año y Km<sup>2</sup> de cuenca)*

País	Embalse	Sedimentos
Suiza	Embalse Broc	375
Suiza	Río Reuss	176
Suiza	Río Kender	362
Italia	Río Poo	650
Italia	Embalse de Cismón	400
Francia	Río Ródano	550
Francia	Río Arve	500
Francia	Río Durance	840
Argelia	Embalse Sig	30
Argelia	Embalse Thelat	170
Argelia	Embalse Djidiouia	295
Argelia	Embalse Habra	31

La aportación de sedimentos de la cuenca vertiente al vaso del embalse en función del nivel de degradación, puede multiplicarse hasta por 40 y 50 veces en casos extremos, y con ello en ese orden de magnitud máximo puede reducirse la vida de un embalse, obra civil de gran coste y necesidad. Vemos que hay embalses que duran desde 15 a 700 años, y no es más que por el nivel regulador que tiene la vegetación en los caudales sólidos y líquidos.

En base al volumen de suelo transportado en función de las diferentes acciones de lucha contra la desertización planteadas, y por tanto los diferentes niveles de inversión económica o sacrificio de renta posibles, podremos evaluar la diferente utilización de un embalse.



Si para cada acción conocemos la pérdida económica que evitamos cada año, y lo capitalizamos al presente, será demostrable que independientemente de consideraciones medioambientales, la lucha contra la desertificación producirá un ahorro económico.

Pero esta justificación deberá completarse como hemos visto, con una consideración similar por el aumento de productividad que podamos conseguir a largo plazo.

Según sean las circunstancias, sólo este ejercicio puede justificar y sacar beneficio económico a una inversión en replacación, y más fácilmente a una planificación de

usos. El estudio de estas variables en zonas de elevado grado de desertización demuestra que la renta extraída en leña, rebaños y agricultura, puede ser frecuentemente muy inferior a los daños económicos causados por los procesos de degradación que promocionan los usos no planificados.

Los daños por inundaciones, las inversiones en obras hidráulicas, la necesidad de embalses (no es sólo una cuestión de consumo humano), el aumento de la fragilidad, el aumento de la lluvia aparente para las personas, la consecuente disminución de la lluvia aparente para las plantas, la pérdida de productividad, el precio del agua, etc... son el coste hídrico de la desertificación, que debe ser considerado al decidir las acciones de lucha contra estos procesos y al exigir a los particulares sacrificios de renta a corto plazo, y asignar recursos económicos (inversión) a todo ello.

*Aguiló Bonnín* en 1976 proponía una metodología de evaluación consolidada de los beneficios económicos de las acciones de restauración de cuencas, aplicada dentro del Programa *LUCDEME (Lucha contra la desertización de la Cuenca Mediterránea)*, en 1987 sobre la Cuenca del Río Adra, en Almería. Para la traducción en pesetas se estandarizan algunos de los conceptos anteriores en porcentajes económicos del valor actual:

- *Beneficios suelo-agua*
- *cuota de conservación del capital suelo, (pues la calidad de este incrementa el valor a la hectárea), como quien tiene un coche y gasta dinero en cuidarlo para que le dure*
- *cuota de seguro por riesgos de daños en el suelo (riesgo por daños directos por las precipitaciones extraordinarias no catastróficas, que consideran aquellas de probabilidad 0,1 anual, o periodo de recurrencia 10 años); como quien tiene un coche y no le basta esté bien cuidado, sino que además paga un seguro todo riesgo (en vez de las reparaciones)*
- *canon de disponibilidad de agua por aumento de la infiltración, como quien tiene un coche y repara el depósito de combustible porque pierde, o asume el que aparentemente gaste más*
- *canon de disponibilidad de agua por almacenamiento superficial (intercepción y evaporación), como quien tiene coche y garaje*
- *Correspondientes a daños que se evitan por afluencia de aguas, que normalmente proceden de áreas dominantes, en las áreas dominadas, (como quien tiene un coche y paga seguro por daños a terceros y responsabilidad civil):*
- *cuota de seguro de daños de arrastre del suelo causados por avenidas (periodo de retorno de 10 años o probabilidad anual del 10 %), en infraestructuras o núcleos urbanos situados aguas abajo*
- *cuota de seguro por destrucción de cultivos (tanto por arrastre, como por anegamiento prolongado)*
- *Beneficios derivados de la mejora de la infiltración con la progresión de la serie, o sea, la mejora de la lluvia aparente para las plantas*
- *Beneficios de prolongar la vida útil de un embalse*

(Consultar Anexo Coste de la Desertización)

Cada cuota tiene en la metodología un criterio de valoración cuantificado. Como ejemplo, las conclusiones del citado estudio económico realizado en la Cuenca vertiente del Río Adra, se obtuvieron los siguientes resultados (en millones de pesetas):

Beneficios suelo-agua	19.412
Beneficios del aumento de la lluvia aparente para las plantas	855
Beneficios en el embalse	3.573
Beneficios totales	23.840
Gastos	8.793
Inversiones (reales y anteriores)	15.047
Beneficio neto	15.047

Una descripción somera de la valoración puede hallarse en el *Anexo Coste de la Desertización*.

O sea, que considerar el largo plazo además del corto plazo, demuestra la rentabilidad en términos productivos, aún obviando las cuestiones medioambientales. Una lectura importante para demostrar que el respeto al medio natural es económicamente viable.

*En el antiguo código de justicia militar, si un sargento pinchaba con una aguja los cuartos traseros de un mulo y encima se situaba detrás, al dar la lógica coz, el mulo debía ser arrestado. Con las inundaciones nosotros estamos haciendo lo mismo y le echamos la culpa al mulo. La mayor parte de las veces no son las tormentas las que provocan inundaciones, pero si queremos seguir engañándonos...*

## CONCLUSIONES

Para resumir los conceptos descritos en esta exposición, extraeremos de cada capítulo frases representativas, que aunque no relacionadas en ocasiones entre sí, expuestas una detrás de la otra, intentarán describir los conceptos manejados en el conjunto:

*Regresión es el proceso de aumento de fragilidad y disminución de la productividad.*

*Degradación es la regresión irreversible a escala de tiempo humana (generaciones).*

*Desertización es la degradación edáfica.*

*Desertificación es la desertización provocada directamente por el hombre.*

*Degradación es esterilización, Desertización es esterilización del suelo, sea por el motivo que sea: natural o antrópico, porqué llueva o porqué no llueva, por el agua o por el suelo,...*

*Desierto es aquel ecosistema que por su extrema fragilidad (propia o inducida) es incapaz de protegerse a si mismo frente a la agresividad del clima, hasta productividades próximas a la esterilidad.*

*No hay que confundir Desierto con Sáhara, es concepto de agua, no de temperatura.*

*La fragilidad es un concepto que combina dos variables íntimamente relacionadas: resistibilidad (o su complementaria, agresividad) y reversibilidad.*

*La capacidad es un concepto que combina dos variables íntimamente relacionadas: cantidad y calidad de biomasa, (productividad y biodiversidad)..*

*La productividad debe entenderse en su sentido amplio y no sólo económico, ya que entonces nos referiríamos a posibilidad.*

*La comparación entre productividades y biodiversidades cuantifica el grado de regresión, degradación o desertización, siempre que se esté dentro del mismo nivel de biomasa y madurez del ecosistema.*

*Biodiversidad no es Diversidad (cantidad), sino su valor.*

*La biodiversidad de un entorno no productivo puede estimarse con la biomasa.*

*El riesgo de desertificación es proporcional a factores humanos (demografía y nivel de consumo) y ecológicos (fragilidad).*

*A nivel mundial el disparo demográfico es la causa de mayor peso.*

*El hambre es a veces consecuencia de un círculo vicioso demografía-desertización.*

*La lucha contra la desertización a nivel mundial está íntimamente ligada al desarrollo económico y cultural, el aspecto técnico es secundario.*

*Sólo es planteable la lucha contra la desertificación con criterios técnicos en aquellos países en los que la extracción indiscriminada de recursos del medio no es un problema de supervivencia, sino de bienestar.*

*La desertización es un proceso histórico, no actual.*

*En la Cuenca Mediterránea la desertización es consecuencia de la sobreexplotación indiscriminada de recursos sobre ecosistemas frágiles.*

*En nuestro entorno la desertización es consecuencia de la historia, el pastoreo extensivo y los incendios forestales.*

*En última instancia, las causas de los incendios forestales son el choque de intereses particulares y colectivos, el no aprovechamiento del matorral y el mayor uso recreativo del bosque.*

*En España las acciones prioritarias de lucha contra la desertización son: ordenación del pastoreo, lucha contra los incendios y repoblación.*

*Lo tradicional es el aprovechamiento indiscriminado y abandono de lo no productivo, sólo que antes éramos y consumíamos menos. Lo natural en estas circunstancias no es lo tradicional.*

*Las posturas conservacionistas a ultranza son perjudiciales para el medio pues no pueden evitar que consumamos más recursos, para lo que hay que adaptar las técnicas de producción a las nuevas necesidades (limitar y ordenar usos), no conservar las antiguas para alimentar a más, reduciendo los consumos a la inversa que la demografía.*

*Existen mecanismos de compensación de los cambios en el régimen termométrico que se están produciendo.*

*El régimen termométrico condiciona el pluviométrico, pero no tiene por qué incrementar su fragilidad climática.*

*El clima es variable cíclicamente, no está demostrado que el régimen pluviométrico esté variando por causas humanas.*

*La “pertinaz sequía” forma parte del clima mediterráneo y es, junto con la orografía y la torrencialidad, una componente más de la fragilidad de nuestros ecosistemas.*

*La sequía será tanto más acusada no sólo según marquen los ciclos o posibles cambios climáticos, sino más por disponer de menores reservas para paliarla.*

*Que no haya bosque no implica que llueva menos, sino que se necesita más agua para mantener una humedad del suelo similar.*

*La lluvia no es una variable absoluta, pues la acción del hombre sobre el medio modifica la precipitación aparente para las plantas (infiltración) y la precipitación aparente para las personas, a través del aumento de la escorrentía.*

*El clima no acepta la dictadura estadística ni del refranero, es el que es, no el que nosotros describimos que debe ser, y su característica más genérica es la irregularidad.*

*Existen síntomas de que el régimen pluviométrico puede estar variando, pero si fuera así, sus efectos son de un orden de magnitud inferior a los de la desertificación.*

*El clima es el que es y no el que nos quisiéramos. No acepta nuestra dictadura estadística, ni refraneros.*

*Los procesos de regresión de suelos son consecuencia de un exceso de demanda de rentabilidad.*

*La degradación de los ecosistemas incrementa la escorrentía superficial a costa de la infiltración, lo que provoca menor disponibilidad de agua.*

*La erosión efectiva (erosión+transporte), es la causa principal de la degradación, y es a su vez consecuencia de la disminución de la protección del suelo por la vegetación.*

*Para frenar la desertificación, hay que adaptar la extracción de recursos a la capacidad del medio y planificar los usos a su vocación.*

*La lucha contra la desertización implica sacrificios de renta a corto plazo a favor de producción a largo.*

*La lucha contra la desertización es un lujo para la sociedad que se lo puede permitir, y la no lucha un pecado a nuestros descendientes.*

*La vocación de un lugar es aquel aprovechamiento que con la técnica adecuada puede realizarse y mantenerse a largo plazo con riesgos mínimos.*

*Para reconstruir ecosistemas degradados es preciso a menudo actuar para acelerar el proceso de cicatrización.*

*Normalmente es inabordable la reconstrucción de ecosistemas en una sola fase, es preciso plantearlo a largo plazo.*

*En la definición de un plan de lucha contra la desertización es preciso considerar el impacto ambiental, sociocultural, económico y los riesgos de catástrofe.*

*No hay más inundaciones porque el clima sea más torrencial, sino porque la escorrentía superficial es mayor y el tiempo de concentración menor.*

*Todas las variables a considerar en la lucha contra la desertización son cuantificables.*

*Los argumentos definidos y medidos son matizables, pero no discutibles.*

*La estimación numérica de la fragilidad, capacidad, productividad, impacto, riesgos,... justificarán el desarrollo de legislación y el nivel de inversión necesario para mejorar la producción y renta de los ecosistemas degradados.*

*Si se demuestra rentabilidad de una inversión se conseguirán recursos, si sólo se exigen recursos, se obtendrán buenas palabras.*

*La definición y medición de los procesos de desertización y de las acciones de regeneración y sus consecuencias, elevan la discusión y decisión de las relaciones causales a los criterios.*

*Convivimos con la desertización y no la vemos, pues forma parte del paisaje al que históricamente está acostumbrada la sociedad.*

*Sonó la 7ª trompeta..... pero ha llegado tu cólera y el tiempo de que los muertos sean juzgados, el tiempo de dar recompensa a tus siervos los profetas, a los Santos y a los que temen tu nombre, pequeños y grandes, y de destruir a los que destruyen la tierra.*

*Apocalipsis (capítulo 11, versículo 18)*

## **ANEXOS**

### METODOLOGÍAS

Para definir la capacidad de regeneración de la vegetación se precisan datos pluviométricos y termométricos, (valores y su evolución estacional), pero para definir estadísticamente la erosionabilidad de un clima (tamaño, distribución y evolución de las gotas de lluvia), se necesitará disponer de datos pluviográficos, (registran la evolución de cada aguacero). Sin embargo la *Red Meteorológica Nacional* no se adapta a las necesidades para la cuantificación estadística de todas estas variables a una escala temática homogénea. Consta de:

- Estaciones de 3<sup>er</sup> orden, a escala municipal y situados generalmente en núcleos rurales de escasa magnitud. Los criterios de distribución no son siempre técnicos, sino de oportunidad, pues precisan de encargados que tomen diariamente los datos, que son:

- *precipitación mensual*
- *precipitación máxima mensual en 24 horas*
- *número de días con lluvia superior a 30, 10, 1, 0,1 y 0 mm*
- *tipo de precipitación: tormenta, lluvia, nieve, granizo, escarcha y rocío*

Los mismos criterios de localización de las estaciones hacen que estén principalmente en valles y terrenos llanos, por lo que sesgan la información pluviométrica para terrenos montañosos. Por otro lado la recogida de información no es siempre continua, pues existen numerosas lagunas por circunstancias diversas como pueden ser vacaciones, baja, cambio de destino, defunción o simplemente dejadez de los responsables de la estación.

- Estaciones de 2<sup>o</sup> orden, a escala comarcal y situados normalmente en lugares donde los observadores puedan tener una mayor formación: embalses, institutos,... Recogen datos pluviométricos y termométricos

- Estaciones de 1<sup>er</sup> orden, a escala provincial y situados normalmente en ciudades medias y grandes, aeropuertos, universidades, centros de investigación,... La recogida de datos es extensa: pluviográfica, termométrica, insolación, humedad relativa, vientos,...

En los análisis estadísticos de datos pluviográficos (evolución diaria de las precipitaciones instantáneas de cada aguacero), para la estimación de la erosionabilidad climática, hay que considerar:

- *La enorme cantidad de información necesaria para conclusiones estadísticas aceptables hace su tratamiento muy costoso*
- *La distribución de intensidades de un aguacero es muy variable geográficamente, por lo que son difícilmente territorializables estadísticamente*
- *Es común hallar bandas pluviográficas deficientes, principalmente en aparatos de sifón tipo Hellmann-Fuess, que son los más frecuentes*
- *La red pluviográfica es muy escasa y su distribución no tiene criterios de representatividad estadística, presentando grandes carencias de información comparable en zonas de montaña*

La erosionabilidad climática se estima a partir de la torrencialidad (datos pluviográficos) y la capacidad de regeneración a partir del vigor vegetativo del clima (datos termométricos y pluviométricos). Los primeros tienen puntos de información muy detallados, al contrario de los segundos con una red suficiente de estaciones de medida pero con escasa información.

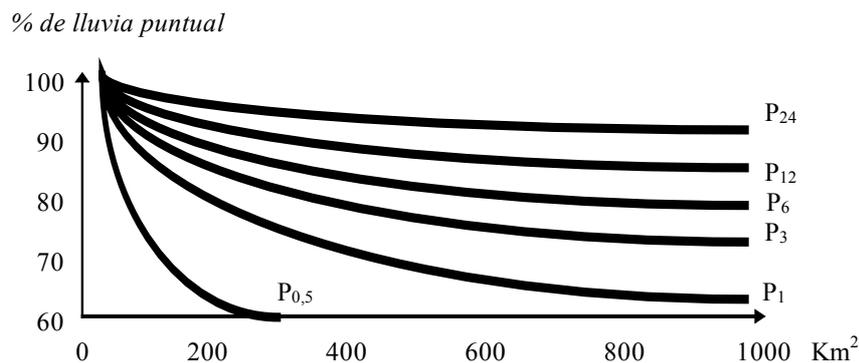
Como se verá, la cuantificación de los procesos de desertificación se puede realizar bien estudiando estadísticamente durante un tiempo los efectos en parcelas de muestreo, o bien por aplicación de modelos de simulación causa-efecto a través de la combinación de cartografía temática, lo que significa que es necesario mapizar los diferentes factores de fragilidad (en este caso erosionabilidad).

La territorialización de datos pluviográficos es muy compleja, y por ello y por la escasa representatividad de la red nacional, poco fiable y de menor nivel geográfico de detalle. La mapización de datos pluviométricos, aún siendo difícil, es más simple (y admite mayor nivel de escala temática), y por la extensa red de 3<sup>er</sup> orden más representativa.

Para la distribución geográfica de la pluviometría (mapa pluviométrico), número de días de lluvia y precipitaciones máximas anuales, pueden considerarse los siguientes criterios:

- **En zonas montañosas perpendiculares** a la dirección predominante de los vientos (circunstancia común en España), las regresiones altimétricas pueden dar buenos resultados, al ser predominantes las precipitaciones advectivas orográficas. *Gandullo* en la Monografía 9 de *ICONA*, consigue altos coeficientes en la Cornisa Cantábrica. Si las cordilleras tienen orientación Este-Oeste, lo que es común en el Estado, debe introducirse como variable de regresión, la exposición (solana o umbría).
- **En zonas llanas**, sin proximidad de cordilleras al Norte pueden combinarse:
- Método de *Thyessen*, por el que se asigna a cada estación pluviométrica una zona de precipitación homogénea limitada por las mediatrices de las líneas que juntan los puntos de medición

Coefficientes correctores del área que rodea un pluviómetro o pluviógrafo (regresiones estadísticas de EE.UU. no contrastadas en España, pero que allí demostraron ser independientes de la geografía, y por tanto pueden ser tomadas en cuenta en la generación de mapas pluviométricos y pluviográficos). Al ser las intensidades de carácter muy localizado, su extensión a áreas circundantes las reduce como media.



$P_i$  indica la precipitación máxima en  $i$  horas (*US Weather Boureau*)

- **En zonas próximas por el Sur a cordilleras**, habrá que ensayar estadísticamente ambos criterios y combinarlos además con las diferentes influencias del efecto Föhn según la distribución de collados y orientación de los valles por los que se encajona el viento

Las regresiones realizadas así son aceptables en el Norte y parte continental de la Península Ibérica, pudiéndose obtener información a escala temática de hasta 1:50.000. En Levante, donde los ecosistemas son más frágiles, más comunes las tormentas convectivas, y más irregular el paso y dirección de los frentes, los coeficientes de regresión son menores y en función de los mismos, pueden ser necesarias escalas temáticas hasta de 1:200.000.

Como vemos la información pluviométrica es más tratable geográficamente y menos detallada (al revés de la pluviográfica), pero las variables del clima como hemos visto sufren ciclos, por lo que para que sean estadísticamente aplicables hay que utilizar amplias series de datos, como se puede apreciar según recomendaciones de series de datos de la *OMM (Organización Meteorológica Mundial)*:

Años	Islas	Costas	Llanuras	Montañas
------	-------	--------	----------	----------

Temperatura	10	15	15	25
Humedad	3	6	5	10
Nubosidad	4	4	8	12
Visibilidad	5	5	5	8
Precipitación	25	40	40	50

El objetivo de un mapa de fragilidad del clima frente a la erosión (erosionabilidad climática), es poder inferir estadísticamente en cada lugar los eventos meteorológicos pasados al futuro.

Nos encontramos así que para la definición de la erosionabilidad del clima, se precisa:

- *información pluviográfica*
- *datos capaces de ser tratados estadísticamente (pluviometría)*
- *datos susceptibles de ser territorializados (pluviometría)*

Con lo que se necesita el detalle de la información pluviográfica y la extensión y simplicidad de la pluviométrica. Para conjugar ambos requisitos en la medición de la fragilidad climática se han adoptado varias soluciones en función de la escala temática a la que se trabaje:

- **macroclima** (regiones climáticas), escalas > 1:200.000
- estimación indirecta de características pluviográficas a partir de información pluviométrica (*Fourier, 1960*)
- exhaustivo estudio pluviográfico y extensión de los resultados de forma homogénea al área climática (*Meyer-Wischmeier, 1969*)
- **mesoclima**, escalas < 1:200.000
- regresiones estadísticas entre información pluviográfica y pluviométrica (*Regresiones del factor R de Icona-Intecsa, 1988*)
- estimación de datos pluviográficos a partir de datos pluviométricos (*Método de las Curvas Pluviográficas, 1991*)

En todos los casos se intercambia exactitud por aplicabilidad, y si bien las aproximaciones estadísticas acumulan errores, permiten la estimación de valores de la erosionabilidad climática, su territorialización y por tanto la generalización de su aplicación. Veamos cada una de estas aproximaciones.

1- *Fourier* define el **Índice de Agresividad del Clima**, con la expresión

$$I_f = p_m^2/P$$

Siendo  $p_m$ , la precipitación media del mes más lluvioso

P, la precipitación media anual

y que en España tiene la siguiente distribución geográfica:



Este índice es excesivamente general y aplicable sólo a grandes extensiones (> 20.000 Km<sup>2</sup>), por lo que se comenzó a estudiar la capacidad erosionadora de las gotas de agua.

2- Más concretos fueron los criterios basados en el análisis de la torrencialidad a través de la energía cinética del agua al caer, que depende lógicamente de su masa, velocidad y rozamiento con el aire:

- forma de precipitación (rocío, nieve, granizo, lluvia,...)
- altura de la que cae (evidentemente el agua llueve del cielo, pero si antes de tocar el suelo se encuentra con vegetación, cae sólo desde la altura de las hojas)
- tamaño de la gota (masa)
- velocidad de la gota (cantidad de movimiento)
- distancia entre las gotas (intensidad de la lluvia)

*Ellison*, en base a regresiones estadísticas y dado que la información meteorológica disponible no incluye la medida de estas variables, establecía relaciones entre la intensidad (que se registra en pluviógrafos) y el tamaño de la gota de agua:

$$D = 2,23 \times (25,4 \times i)^{0,182}$$

Siendo D, el diámetro medio (mm)

i, la intensidad (mm/h)

Analizando las distintas variables llegó a la siguiente tabla:

Forma de lluvia	Intensidad	Diámetro	Velocidad
-----------------	------------	----------	-----------

	(mm/h)	(mm)	(m/sg)
niebla	0,13	0.055	0.1
llovizna	0.25	0.500	4.0
lluvia ligera	0.75	1.000	5.5
lluvia	18.00	2.000	6.5
chubasco	100.00	4.000	9.0

Así con estos conceptos dicho autor propuso el siguiente coeficiente de agresividad

$$G = V^{4,33} \times D^{1,07} \times i^{0,65}$$

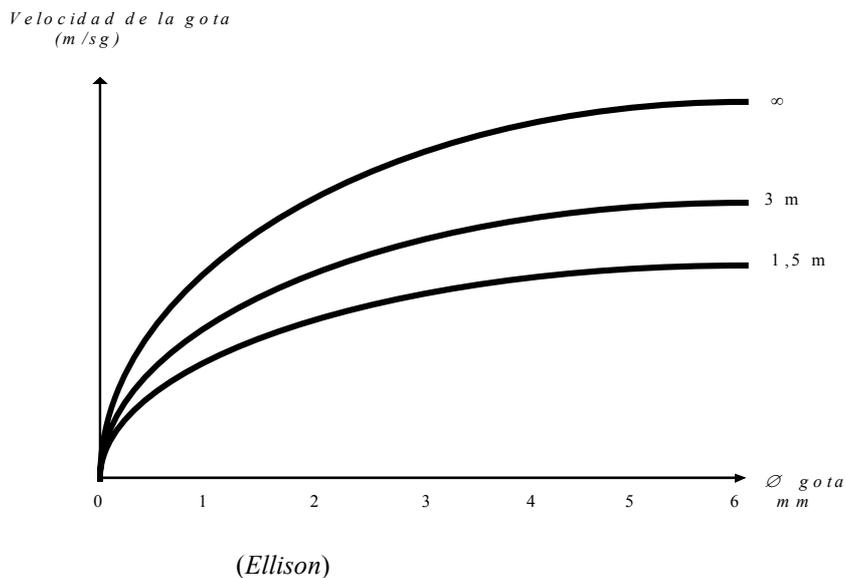
Siendo

V, velocidad (pies/sg)

D, diámetro de las gotas (pulgadas/h)

i, intensidad (mm)

Sin embargo su aplicación es difícil pues los parámetros a utilizar no son de fácil obtención, tratamiento estadístico, ni territorialización.



### 3. El factor R,

*Wischmeier y Smith* (1958), proponen entonces definir el efecto de la lluvia sobre el suelo en base a las mismas variables, aunque de más fácil obtención para un aguacero conocido pluviográficamente.

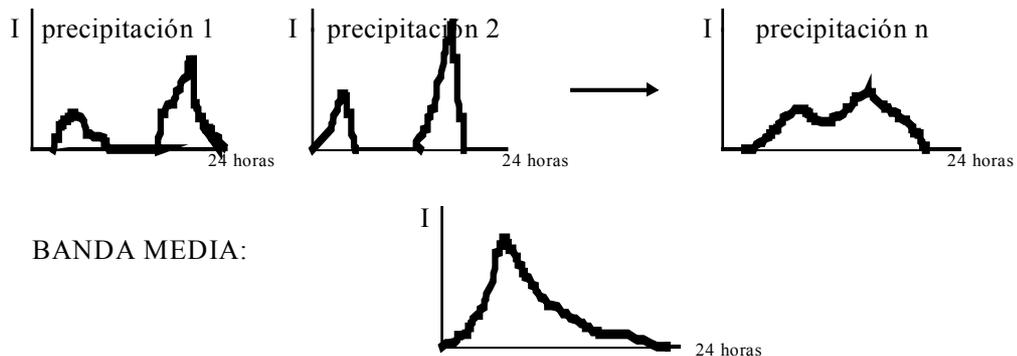
$$R = \text{energía cinética del aguacero} \times \text{intensidad máxima en 30 minutos} / 100$$

La energía cinética,  $E_c$ , es una función de la masa y velocidad de la gota de agua, que como hemos visto, están relacionadas con la intensidad,  $i$ , según este autor, obviando consideraciones de las gotas, del siguiente modo:

$$E_c = 210,2 + 89 \times \log_{10}(i)$$

Al variar la intensidad varía la energía cinética, por lo que la R de un aguacero será la suma ponderada de las R's parciales de cada intervalo de la precipitación:

Pero esta forma de calcular la erosionabilidad climática es sólo aplicable a un aguacero ya sucedido y registrado en un pluviógrafo, con lo que su utilidad, coste de obtención y aplicabilidad geográfica también es escasa. Por ello *Elías Castillo* y *Ruiz Beltrán* propusieron el concepto de *Banda Media*, que es aquella banda pluviográfica que generaría un aguacero de precipitación conocida p.



Los pluviómetros miden la precipitación en 24 horas, por lo que:

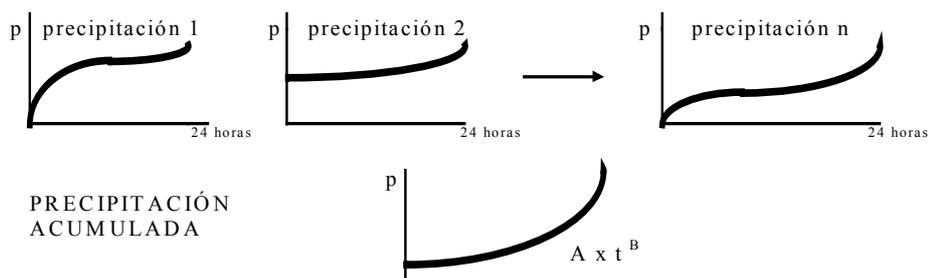
$$p = I(24), \text{ intensidad en 24 horas}$$

En climas no húmedos, el considerar el aguacero equivalente a la precipitación en 24 horas introduce un sesgo al partir eventos, y en lluvias extraordinarias (frecuencia menor a 1 por año), se utiliza un coeficiente corrector,

$$p = 1,13 \times p$$

Según estos autores, si se suponen las intensidades acumuladas (precipitaciones instantáneas) ordenadas de mayor a menor, la Banda Media seguirá una curva del tipo:

$$p(t) = A \times (t+C)^B \text{ (precipitación acumulada)}$$



A, B y C son parámetros a determinar geográficamente a través de regresiones estadísticas, de los que C se hace 0, si  $t > 2$  horas y aun así, en numerosas localidades de España también en periodos cortos, por lo que una aproximación que permita una general aplicación a nuestro entorno se puede realizar con fin didáctico suponiendo  $C = 0$  en todos los casos. Para casos más concretos en la práctica debiera considerarse.

La precipitación acumulada es la suma de intensidades conforme sucede la precipitación, por lo que la evolución de la intensidad de un aguacero puede calcularse a través de la derivada de esta función (variación instantánea de la precipitación acumulada):

$$I(t) = a \times t^b \quad (\text{intensidad})$$

Pero en los pluviómetros se conoce la precipitación en 24 horas (a las 7 a.m.) y por tanto:

$$p(24) = A \times t^B \quad (\text{precipitación acumulada})$$

Con ello puede dejarse una sola variable dependiente de la geografía. Para fijar la otra, y en base a los estudios estadísticos de *Elías Castillo y Ruiz Beltrán*, pueden establecerse relaciones entre las precipitaciones acumuladas en 2 periodos de tiempo según una relación del tipo,

$$I(t_1) = K \times I(t_2)$$

La constante geográfica K, se determina según la tabla:

$t_1 - t_2$	Norte y Centro	Levante y Sur
10' - 1 h	3.05	2.22
20' - 1 h	2.15	1.76
30' - 1 h	1.70	1.46
2 h - 1 h	0.59	0.61
6 h - 1 h	0.31	0.31
12 h - 6 h	0.58	0.58
24 h - 12 h	0.60	0.60
48 h - 24 h	0.59	0.59
72 h - 48 h	0.44	0.44

Así cada regresión estadística se habrá realizado considerando el lugar y la cantidad de lluvia caída.

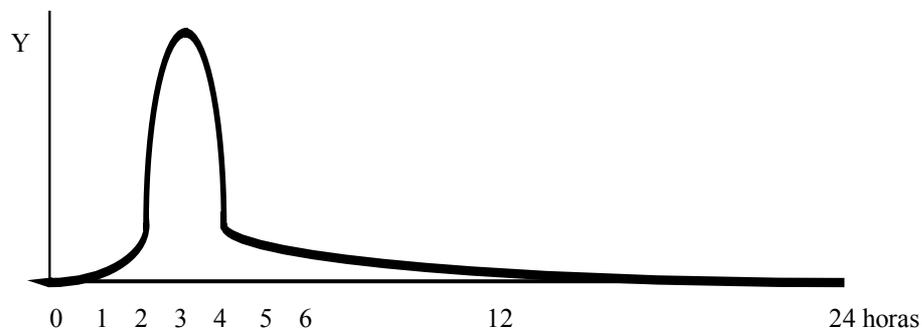
En base a dichas distribuciones de intensidades máximas, *Aguiló Bonnín* propone la construcción de pluviogramas de 24 horas según una distribución de la precipitación durante ese tiempo del siguiente modo:

h	I (t) mm	p (t) mm
0 - 1	0.15 (p(6) - p(1))	0.15 (p(6) - p(1))
1 - 2	0.17 (p(6) - p(1))	0.32 (p(6) - p(1))
2 - 3	0.19 (p(6) - p(1))	0.52 (p(6) - p(1))

3 - 3,5	P (0,5)	$p(0.5) + 0,51 (p(6) - p(1))$
3,5 - 4	10	$p(1) + 0,51 (p(6) - p(1))$
3 - 4	p(1)	$p(1) + 0.51 (p(6) - p(1))$
4 - 5	$0.32 (p(6) - p(1))$	$p(1) + 0,83(p(6) - p(1))$
5 - 6	$0.17 (p(6) - p(1))$	p (6)
6 - 12	$p(12) - p(6)$	p (12)
12 - 24	$p(24) - p(12)$	p (24)

La división de la tercera hora en 2 partes se consideraría solamente si la precipitación fuera inferior a 2,5 horas, lo que salvo excepciones no se considera como generalmente aplicable en éste método (*J. Aguiló*).

Con ello, para cada precipitación diaria conocida, puede construirse un gráfico que representa la media pluviográfica de una precipitación diaria fija:



Para el cálculo de la erosionabilidad de un aguacero, puede combinarse la aproximación estadística anterior con la suma ponderada de las R's instantáneas de un día según los modelos anteriores.

Además de complicado, la agresividad así medida se refiere sólo a una lluvia puntual ya ocurrida, no define la torrencialidad del clima en general.

#### 4. Estimaciones indirectas del factor R para cada aguacero

Han dado resultados satisfactorios en estaciones con < 500 mm anuales, regresiones del tipo:

$$R = 0,00035 \times P \times p \times I(1)$$

Siendo

P, la precipitación media anual

p, la precipitación del aguacero  $p = I(24)$

I(1), la precipitación máxima en 1 hora

y como en base a la tabla anterior conocemos que I(1) puede estimarse como el 11% de I(24),

$$R = 0,0000385 \times I(24) \times P \times p^2$$

Pero de nuevo estas formas de aproximar la erosionabilidad climática con datos pluviométricos, se refieren solamente a la precipitación de 1 día. Para poder calcular un índice representativo de un determinado lugar, es preciso contar con valores medios anuales de R, como media de la suma de las erosionabilidades de cada aguacero en 1 año representativo. Si conociéramos la distribución media de las precipitaciones diarias de un año, lo que antes llamamos distribución anual de la

torrencialidad (probabilidad, frecuencia o recurrencia de las precipitaciones diarias), podremos calcular la erosionabilidad climática media anual.

5. Estimaciones indirectas del factor R interanual

La *Metodología de las Curvas Pluviográficas*, que define la torrencialidad del clima con datos pluviométricos a partir de la construcción de un Año Medio (año representativo), o distribución media anual de las precipitaciones diarias.

Para su determinación se diferencian dos tipos de recurrencia de precipitación:

- Extraordinaria, con probabilidad de que sea superada anualmente menor a 1 (o sea, no sucede como media todos los años)

La precipitación extraordinaria, tendrá una frecuencia anual media menor de 1, o sea un periodo de retorno superior a 1 año.

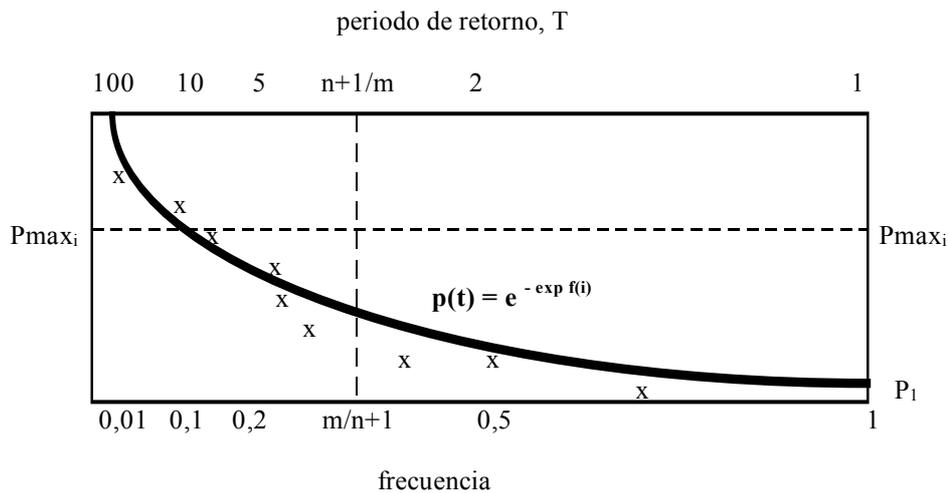
Para calcular la probabilidad de una precipitación máxima anual de una serie pluviométrica de n años, se opera del siguiente modo:

1. Se ordenan las n precipitaciones máximas de mayor a menor
2. Se asigna a cada una, un número de orden m, a la mayor 1 y a la menor n
3. Cada una tendrá una probabilidad de ocurrir de  $m / n+1$

En climas húmedos para periodos de retorno superiores a 1 año, y en climas continentales secos y mediterráneo con recurrencias superiores a 2 años, esta distribución de las precipitaciones diarias puede tratarse estadísticamente con buenos coeficientes de correlación, a través de una función *Gumbel*:

$$p(i) = e^{-\exp(f(i))}$$

En una representación gráfica, en abcisas se dispone la probabilidad de que se supere la precipitación diaria, que se expresa en



Para facilitar el cálculo se ha establecido el siguiente procedimiento:

$$p(T) = \text{media de } P_{\max} + (k \times \text{desviación típica de } P_{\max})$$

Siendo k dependiente del número de años de la serie considerada

n / T	2	5	10	15	20	25	30	50	100
-------	---	---	----	----	----	----	----	----	-----

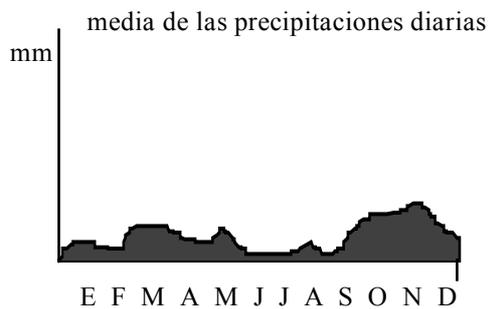
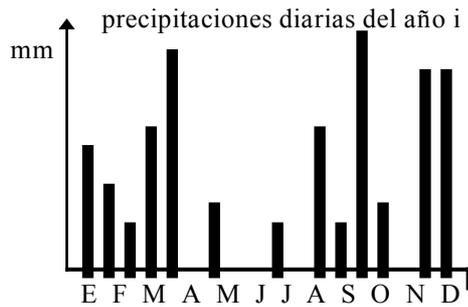
10	-0,14	1,05	1,83	2,27	2,58	2,82	3,02	3,56	4,29
11	-0,14	1,03	1,81	2,25	2,55	2,79	2,98	3,52	4,24
12	-0,14	1,01	1,78	0,21	2,51	2,74	2,93	3,46	4,18
13	-0,14	1,00	1,75	0,17	2,47	2,70	2,89	3,40	4,11
14	-0,14	0,98	1,72	2,14	2,44	2,66	2,85	3,36	4,05
15	-0,14	0,96	1,70	2,12	2,41	2,63	2,81	3,32	4,00
16	-0,14	0,95	1,68	2,09	2,38	2,60	2,78	3,28	3,96
17	-0,14	0,94	1,67	2,07	2,36	2,58	2,76	3,25	3,93
18	-0,15	0,93	1,65	2,06	2,33	2,56	2,73	3,22	3,89
19	-0,15	0,92	1,64	2,04	2,32	2,54	2,72	3,20	3,87
20	-0,15	0,92	1,62	2,02	2,30	2,52	2,69	3,18	3,84
21	-0,15	0,91	1,61	2,01	2,29	2,50	2,67	3,16	3,81
22	-0,15	0,90	1,60	2,00	2,27	2,48	2,66	3,14	3,79
23	-0,15	0,90	1,59	1,98	2,26	2,47	2,64	3,12	3,77
24	-0,15	0,89	1,58	1,97	2,25	2,46	2,63	3,10	3,75
25	-0,15	0,88	1,58	1,96	2,23	2,44	2,61	3,09	3,73
26	-0,15	0,88	1,57	1,95	2,22	2,43	2,60	3,07	3,71
27	-0,15	0,88	1,56	1,94	2,21	2,42	2,59	3,06	3,70
28	-0,15	0,87	1,55	1,94	2,20	2,41	2,58	3,05	3,69
29	-0,15	0,87	1,55	1,93	2,20	2,40	2,57	3,04	3,67
30	-0,15	0,86	1,54	1,92	2,19	2,39	2,56	3,03	3,65

Con todo ello, podemos conocer la probabilidad de cada precipitación con periodo de retorno superior a 2 años, (probabilidad < 0,5). Quien haya llegado hasta aquí y como premio a haber aguantado todo este rollo queda invitado por el autor a una caña, se lo ha merecido. Para probabilidades entre 0,5 y 1 pueden utilizarse la propia distribución *Gumbel* en climas húmedos, o en climas torrenciales o más secos otros modelos estadísticos como *Langbein* ( $1 < T < 20$ ), *Peat-Over-Threshold*, *POT* ( $0,4 < T < 5$ ), *Weibull*,... que ya han sido usados en España.

- Ordinaria, con seguridad estadística de que sea superada cada año, o sea con probabilidad 1

Para que un régimen pluviométrico (información gráfica), pueda ser tratado estadísticamente, debe homogeneizarse su distribución

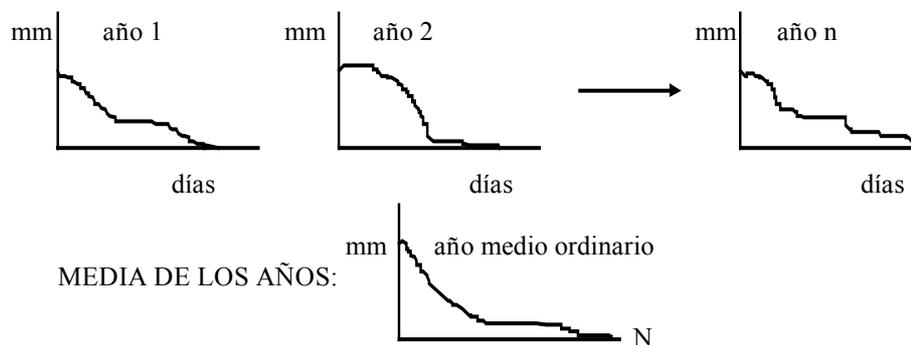
Gráficamente pudiera describirse del siguiente modo:



Pero un criterio de homogeneización por fechas no es válido para definir la torrencialidad, pues:

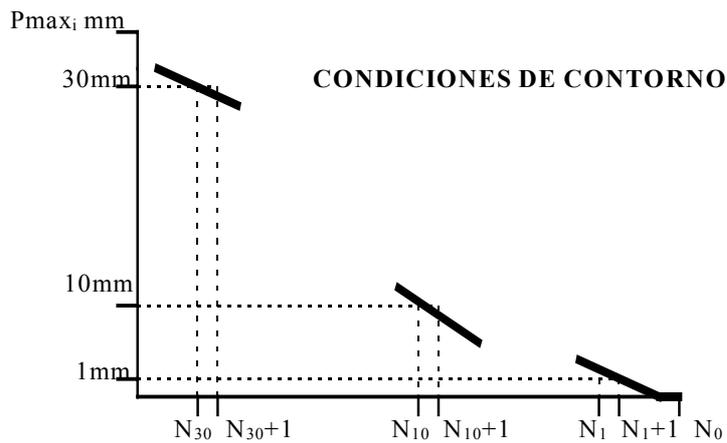
- el *INM* suministra información mensual de pluviosidad
- las precipitaciones máximas no se dan en la misma fecha del mes
- lo normal es que se concentren en pocos meses, de los que pluviométricamente sólo se registra una máxima mensual

Para evitar estos inconvenientes, que introducen un sesgo disminuidor, en el *Método de las Curvas Pluviográficas* se toma el criterio de ordenar las precipitaciones diarias de mayor a menor



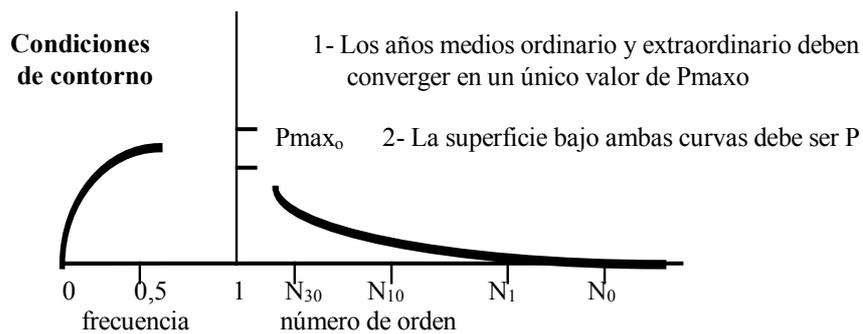
Con este criterio y con la información pluviométrica disponible, es sencillo dibujar una aproximación del Año Medio Ordinario, con ciertas condiciones de contorno:

la ficha pluviométrica del *INM* indica el número de días anual en los que se han superado los 30, 10, 1, 0,1 y 0 mm. con lo que sabemos que el año medio ordinario tiene que pasar por encima de estas ordenadas, y por un intervalo de abscisas máximo de 1 día más



debe ser una línea continua y derivable (sin quiebros), pues de no ser así se introduciría un sesgo

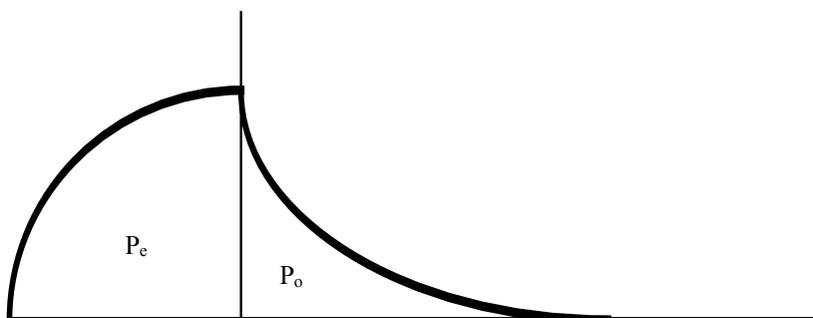
- la precipitación máxima ordinaria y la precipitación mínima extraordinaria son la misma, con lo que Año Medio Ordinario y Extraordinario convergen en un mismo punto



- la precipitación media anual ordinaria es la precipitación media anual no extraordinaria:

$$P = P_e + P_o$$

por lo que el área comprendida bajo la curva del Año Medio Ordinario es  $P_o$ .  $P$  es un dato conocido en la ficha pluviométrica y  $P_e$  puede calcularse a través del sumatorio de cada precipitación extraordinaria por su probabilidad



Para el cálculo de  $P_e$  y  $P_o$  es recomendable un planímetro o un ordenador, pues son curvas normalmente no asimilables a una sola función matemática

El dibujo del Año Medio se realiza pues por aproximaciones sucesivas, al ir ensayando que se cumplan todas las condiciones de contorno, y puede hacerse por ordenador a mano alzada. También en este último caso es muy simple y en la primera aproximación raramente se producen errores superiores al 5% del módulo pluviométrico ( $P$ ), reduciéndose el error a menos del 2% en una segunda aproximación.

De la construcción del Año Medio en España, se deduce que  $P_e$  es entre un 2 y un 10% del módulo pluviométrico, según la torrencialidad del clima.

El Año Medio describe pues la distribución de torrencialidades de una estación, por lo que para resumir el gráfico se utilizan 2 índices:

- **Precipitación máxima ordinaria** (= precipitación mínima extraordinaria),  $p_1$ , que estima la torrencialidad absoluta
- **Índice de torrencialidad**,  $I_t$ , que estima la torrencialidad relativa

$$I_t = P_o / P_e$$

Ambos describen las siguientes regiones torrenciales:

$p_1 > 30 \text{ mm}$  y  $I_t > 40$ .....*Cantábrico torrencial* (Cornisa Cantábrica), elevada pluviosidad,  $p_1$  e  $I_t$  son más elevadas en el País Vasco y algunos puntos de Galicia

$25 < I_t < 40$ .....*Continental húmedo* (zonas montañosas del interior),  $p_1$  e  $I_t$  mayores cuanto mayor cota

$I_t < 25$ .....*Mediterráneo torrencial* (Zona costera mediterránea y Huelva),  $p_1$  e  $I_t$  especialmente elevadas en el Prepirineo y cordilleras catalanas, y algo menos en Murcia, Alicante y Valencia

$p_1 < 30 \text{ mm}$  y  $I_t > 25$ ..... *Continental seco* (interior de la Península), no son zonas de riesgo torrencial

$I_t < 25$ .....*Torrencial semidesértico* (Almería, y zonas como Los Monegros), donde llueve poco y cuando lo hace es torrencialmente

Con ambos índices, del mismo modo que se cuantifica la pluviosidad con un solo valor, puede medirse la torrencialidad con el **Ratio de Torrencialidad** ( $T_o$ ),

$$T_o = p_1 - I_t$$

que si es  $> 0$ , indica riesgo torrencial, y cuanto mayor es, más riesgo.

Con el Año Medio Ordinario y Extraordinario, es posible aplicar la fórmula de cálculo de la  $R$  de un aguacero combinada con la distribución de *Elias Castillo* y *Ruiz Beltrán*, y hallar el factor  $R$  extraordinario y ordinario, (en España  $R_e$  puede ser del orden de entre el 5 y el 30% de  $R$  según la torrencialidad, o sea que es más agresiva la lluvia del día a día que la de un suceso esporádico y espectacular).

En una muestra de estaciones representativa a nivel nacional, puede observarse la descripción de la forma de llover a través de estos índices:

Estación	P	P <sub>o</sub>	P <sub>e</sub>	p <sub>1</sub>	I <sub>t</sub>	T <sub>o</sub>	R	R <sub>e</sub>	R <sub>o</sub>
Fuenterrabía	1660	1627	33	50	50	0	398	330	68
Santander	1305	1278	27	38	48	-10	296	270	26
Gijón	975	952	23	37	41	-4	192	175	17
Soria	539	524	15	20	16	-4	62	55	7
Palencia	363	353	10	12	35	-23	33	30	3
Valladolid	435	421	14	20	31	-11	56	50	6
Avila	347	335	12	15	27	-12	35	30	5
León	573	557	16	22	36	-14	67	60	7
Toledo	388	375	13	14	24	-10	44	40	4
Ciudad Real	452	438	14	19	32	-13	56	50	6
Zaragoza	357	340	17	20	20	0	50	40	10
Cáceres	479	462	17	21	27	-6	68	60	8
Badajoz	491	471	20	34	24	10	90	80	10
Almería	167	156	12	17	18	1	14	10	4
Huelva	536	512	24	38	22	16	115	100	15
Sevilla	545	521	24	39	22	17	122	105	17
Málaga	684	653	31	42	16	26	134	100	34
Palma de Mca	412	392	20	35	20	15	76	65	11
Murcia	313	288	25	40	12	28	78	60	18
Montseny	1120	1070	50	76	21	55	415	335	80
Sabadell	684	653	31	42	21	21	161	130	31
Figueras	620	591	29	37	20	17	145	115	30

Otra manera de obtener información análoga la desarrollaron *Icona e Intecsa* (1981/1988), a través de regresiones entre las R calculadas con pluviógrafos y datos pluviométricos, primero sólo para Levante y Sur de España (1981), y más tarde para todo el Estado (1988). Los resultados permiten disponer de la erosionabilidad climática media anual territorializable con información pluviométrica, en base a la comparación estadística de 225.000 bandas pluviográficas de 228 observatorios de 1er orden. Incluiremos aquí las regresiones de 1988:

$$R = e^a \times P_{\max}^b \times M_R^c \times M_V^d \times T_2^e \times T_{10}^f \times F^g \times F_{24}^h$$

Siendo

$$e = 2,71$$

P<sub>max</sub>, la media de las precipitaciones máximas diarias anuales

M<sub>R</sub>, la precipitación media del periodo Octubre a Mayo

M<sub>V</sub>, la precipitación media del periodo Junio a Septiembre

T<sub>2</sub>, la precipitación máxima diaria con periodo de retorno 2 años

T<sub>10</sub>, la precipitación máxima diaria con periodo de retorno 10 años

F, el coeficiente de *Fourier*

F<sub>24</sub>, el factor de concentración

F<sub>24</sub> = precipitación máxima diaria anual / suma de las P<sub>max</sub> mensuales en 1 año

a, b, c, d, e, f, g, h son coeficientes geográficos según:

COEFICIENTES DE ZONA PARA EL FACTOR R



zona	a	b	c	d	e	f	g	h
I	-0.834	1.314	-0.388	0	0	0	0	0.563
II	-1.235	1.297	-0.511	-0.366	0	0	0	0.414
III	0.754	1.628	-1.220	0.536	1.031	-0.828	-0.482	0.800
IV	0.965	1.628	-1.220	0.536	1.301	-0.828	-0.482	0.800
IV	0.597	1.628	-1.220	0.536	1.031	-0.828	-0.482	0.800

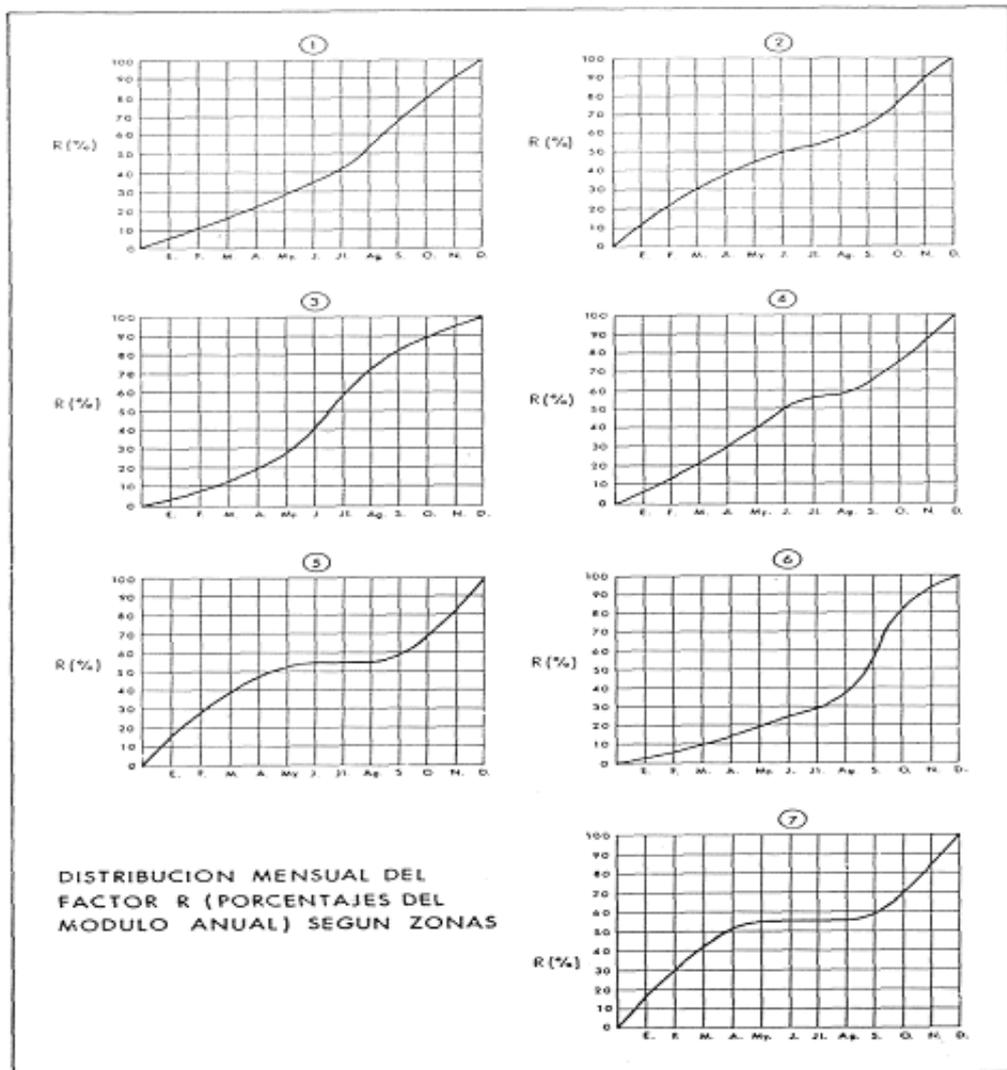
(Las correlaciones entre la información pluviográfica y pluviométrica fueron del 97%, con una desviación típica de entre 0,13 y 0,17)

Está publicada esta información temática a escala 1:1.000.000, si bien con las regresiones obtenidas puede crearse cartografía a escala temática pluviométrica.

En terrenos agrícolas, por sus ciclos estacionales de siembra, recolección, barbecho,... interesa para ponderar la R media anual, el conocer la erosionabilidad climática estacionalmente, pues la protección del suelo por la vegetación varía durante el año a diferencia de los ecosistemas forestales. Por ello dentro del mismo estudio se determinó la R estacional:

DISTRIBUCIÓN MENSUAL DEL FACTOR R POR ZONAS





(ICONA/INTECSA, 1988)

Ambos métodos no tienen porqué coincidir exactamente en el valor de R, pero sí en la comparación relativa de los mismos. O sea, no es recomendable ni necesario mezclar ambos criterios.

Los conceptos manejados en todo el desarrollo anterior se reducen a información pluviométrica directamente tratable de la información del *Instituto Nacional de Meteorología*, perdiéndose exactitud pero permitiendo la generalización de su uso.

Para estudios científicos (que sirven para depurar y obtener más fiabilidad en los modelos estadísticos), es recomendable la utilización directa del procedimiento de *Wischmeier & Smith*, si bien para la aplicación de estos conceptos a la Ordenación del Territorio, como herramienta de freno a los procesos de desertificación, es necesario por coste y capacidad de territorialización utilizar las estimaciones expuestas: el método de las *Curvas Pluviográficas* si se considera erosionabilidad y capacidad de transporte, o el de *Icona-Intecsa* si es de alcance o necesidad más limitados.

La necesidad actual de desarrollo de este método más acuciante, es la de determinar con mayor detalle la distribución geográfica de las posibles *Bandas Medias*.

## REVERSIBILIDAD CLIMÁTICA

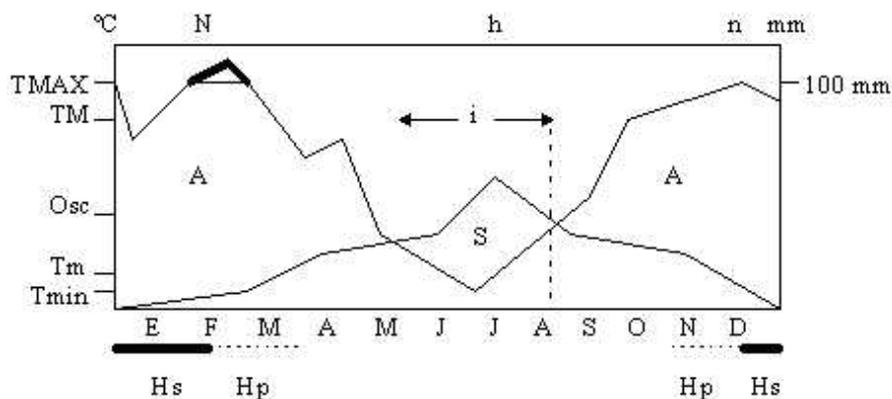
Hemos dicho que la fragilidad es un concepto que incluye a dos aspectos: Agresividad (como complementario a la Resistencia) y Regeneración. La erosionabilidad climática condiciona al primero en la medida que el ecosistema debe ser capaz en el equilibrio de resistir la agresividad del clima, y es estimable a partir de los índices mencionados (*Fourier, Wischmeier, Torrencialidad absoluta y relativa, Regresiones del factor R*); sin embargo el concepto de regeneración debe ser entendido desde el punto de vista climático como la capacidad de este en dotar de una adecuada cobertura vegetal al suelo, que depende de:

- régimen termométrico
  - régimen pluviométrico

Se trata de medir la capacidad de regeneración, y una de las formas más útiles para la medida de estas variables es el **climodiagrama**, en el que se combinan las distribuciones medias mensuales de precipitación y temperaturas (medias, máximas y mínimas), siendo de especial interés deducir de ellos, por ser los factores limitantes de la velocidad en que el clima es capaz de crear una cobertura vegetal:

- precipitación media anual
  - periodo de sequía
  - periodo de heladas

Se incluye aquí un ejemplo genérico de un climodiagrama:



Siendo N, el nombre de la estación

h, la altitud sobre el nivel del mar

n, el número de años de la serie

T, la temperatura media anual

P, la precipitación media anual

Tm, la temperatura media de las mínimas del mes más frío

Tmin, la temperatura mínima absoluta

TM, la temperatura media de las máximas  
 TMax, la temperatura máxima absoluta  
 Osc, la oscilación diaria media de las temperaturas  
 t, las medias mensuales de temperatura  
 p, las precipitaciones mensuales  
 S, las áreas secas  
 A, las áreas húmedas  
 M, la parte del área húmeda en que las precipitaciones son superiores a 100 mm  
 Hs, el intervalo de helada segura (mes en que la media de las mínimas diarias  $< 0^{\circ}\text{C}$ )  
 Hp, el intervalo de helada probable (mes de media de las mínimas absolutas  $< 0^{\circ}\text{C}$ )  
 d, la cantidad de días sin helada  
 i, el número de meses de sequía  
 c, la intensidad de sequía ( $c = S / A$ )

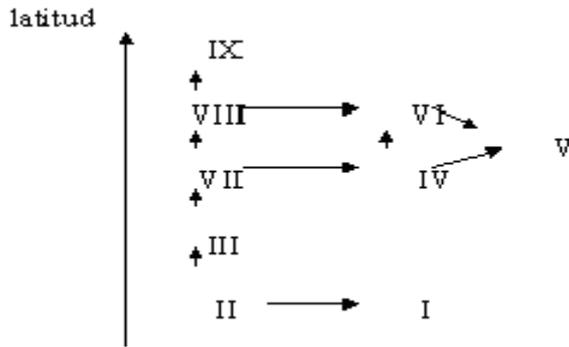
(por encima de los 100 mm, la escala de representación de la precipitación se disminuye a 1/10)

Así, a pesar de tener erosionabilidad climática elevada, conforme aumenta la pluviometría y su regularidad, es más rápida la capacidad del ecosistema, y por tanto su velocidad de regeneración.

Existen diversos criterios para definir el climodiagrama y establecer una clasificación geobotánica con el mismo. En esta exposición se ha seleccionado el de *Walter y Lieth (1960)*, por considerar los factores limitantes del desarrollo de la cobertura vegetal, según el siguiente esquema general de clasificación:

Región	Latitud	Clima	Formaciones
I	Ecuatorial	Tórrido, siempre húmedo	Selva siempre verde
II	Tropical y subtropical	Tórrido, con estación húmeda	Bosque seco, sabana, estepas
III	Tropical y subtropical	Tórrido, siempre seco	Desierto caliente, estepas de matorral y praderas subtropicales
IV	Subtropical y templado-cálida	Cálido con humedad no estival	Bosque esclerófilo
V	Templado-cálida y a veces subtropical	Cálido siempre húmedo	Bosque mixto, perennifolio y caducifolio
VI	Templado-fría	Templado húmedo	Bosque caducifolio
VII	Desde templado-fría a algo subtropical	Templado árido	Estepas y desiertos frescos
VIII	Templado-fría	Frío intenso, no estival	Bosque de coníferas
IX	Ártica	Frío intenso permanente	Desiertos helados y tundra
X	Alta montaña	Variado	Variado

Para completar la clasificación anterior, es preciso considerar además de la latitud, la distancia desde el mar por el que entran los frentes de aire húmedos, u Oceanidad:



Allué y Andrade en 1966, aplicaron el criterio de *Walter y Lieth* en España y definieron los climas de menor a mayor capacidad regeneradora de la vegetación, según el factor limitante (precipitación ó temperatura), que frenaba la reversibilidad:

Algún periodo árido ( $i > 1$ )

Clima no de montaña ( $< 1.500$  m)

Sin ningún periodo anual frío (media del mes más frío  $> 6^{\circ}\text{C}$ )

Precipitación  $< 750$  mm

Aridez considerable ( $i > 8,5$ ).....III

Aridez parcial ( $i < 8,5$ )

Precipitación  $< 350$  mm.....III(IV)

Precipitación  $> 350$  mm

Media del mes más frío  $> 10^{\circ}\text{C}$ .....IV<sub>3</sub>

Media del mes más frío  $< 10^{\circ}\text{C}$

Sequía larga  $i > 3$

Sequía fuerte ( $c < 0,5$ )

Precipitación  $< 500$  mm.....IV<sub>5</sub>

Precipitación  $> 500$  mm.....IV<sub>4</sub>

Sequía débil ( $c > 0,5$ )

Precipitación estival mensual  $< 6\text{mm}$ .....IV (III)

Precipitación estival mensual  $> 6$  mm.....IV<sub>1</sub>

Sequía corta  $i < 3$ .....IV<sub>2</sub>

Precipitación  $> 750$  mm.....IV(V)

Con algún periodo anual frío (media del mes más frío  $< 6^{\circ}\text{C}$ )

Precipitación  $< 300$  mm.....IV(VII)

Precipitación entre 300 y 500 mm.....IV<sub>7</sub>

Precipitación entre 500 y 650 mm.....IV<sub>6</sub>

Precipitación  $> 650$  mm.....IV(VI)

Clima de alta montaña ( $> 1.500$  m).....X

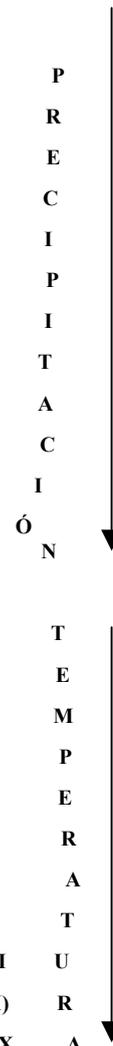
Sin ningún periodo árido ( $i < 1$ )

Clima no de montaña ( $< 1.500$  m)

Estación fría larga (media del mes más frío  $< 6^{\circ}\text{C}$ ).....VI

Estación fría corta (media del mes más frío  $> 6^{\circ}\text{C}$ ).....V(VI)

Clima de alta montaña ( $> 1.500$  m).....X



Pero incluso en el clima influye el cuándo, cómo y dónde el hombre explota los recursos naturales, aunque no en el sentido puramente climático, sino en el de modificar la precipitación que las plantas creen que cae. Tal y como se describe en el *Anexo Transporte de Suelo*, la modificación de la

cobertura vegetal en lugares con pendiente, disminuye la lluvia aparente, o sea la que absorbe el suelo para las plantas, en favor de la escorrentía superficial, que a su vez aumenta la lluvia aparente para los hombres, pues los caudales que pasan por nuestros asentamientos se incrementan, y las puntas suben en su probabilidad de ocurrir.

Así, una deforestación en ladera influirá en la Reversibilidad Climática reduciendo la precipitación aparente para la vegetación, y el grado en que eso se dé es cuantificable a través de la comparación entre la escorrentía en equilibrio natural y la real, que se miden según los métodos explicados en el citado *Apexo*.

Por ello para medir en que medida una determinada acción humana ha influido en la Reversibilidad Climática, se realizarán dos climodiagramas, uno con la precipitación real (dado que en el equilibrio natural, la escorrentía superficial sólo se dará en precipitaciones extraordinarias, que apenas afectan al método), y otro con la aparente. De la comparación entre ambos podrá definirse el vigor vegetativo que se ha perdido.

Existen métodos algo más complejos y que aquí no se detallarán, pero sí recomendarán emplazando a bibliografía específica, pues consideran con mayor aproximación la relación entre clima y vigor vegetativo. Entre ellos cabe destacar los **Biodiagramas** de *Papadakis* (1966) para entornos agrarios, *Montero de Burgos y González Rebollar* (1974) para entornos forestales, *Eagleman* (1976) para situaciones de aridez, etc..., que tienen en cuenta más que la precipitación como tal, el balance hídrico con la evapotranspiración, y por tanto son más susceptibles de considerar la lluvia aparente como variable de entrada.

## INTERRELACIONES EDÁFICAS

Las sustancias minerales se clasifican en función de su tamaño, pues como veremos además de por su composición, las propiedades del suelo están sobretodo influidas por la textura (distribución de las dimensiones de las partículas). La clasificación más generalizada es:

	diámetro (mm)
gravas y gravillas	> 2
arena	0,05 - 2
limo	0,002 - 50
arcilla	< 0,002

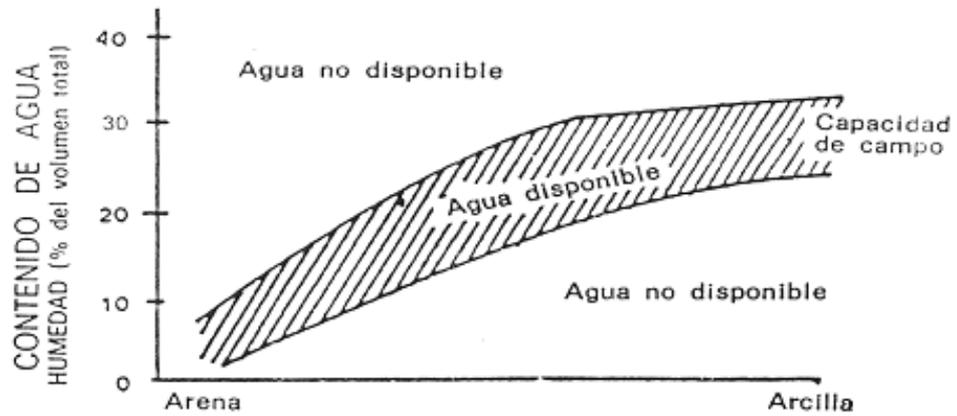
(la palabra arcilla aplicada a la textura, no coincide con el concepto mineralógico)

El elemento crítico para el análisis de los procesos de desertización es el agua y los nutrientes en ella disueltos. Según sea su forma de relación con el suelo y su disponibilidad para las plantas, influirá como veremos de diferente modo en los procesos que se relacionarán. Interesa del agua su grado de interrelación con el suelo, y ello se mide con la fuerza con la que este la retiene, o **Potencial de Retención**.

	forma de retención	potencial de retención (atmósferas)
Higroscópica	coloidal	> 50
Capilar	poros	
inutilizable por las plantas		16 - 50
utilizable por las plantas		3,3 - 16
Gravitacional	no retenida	< 3,3

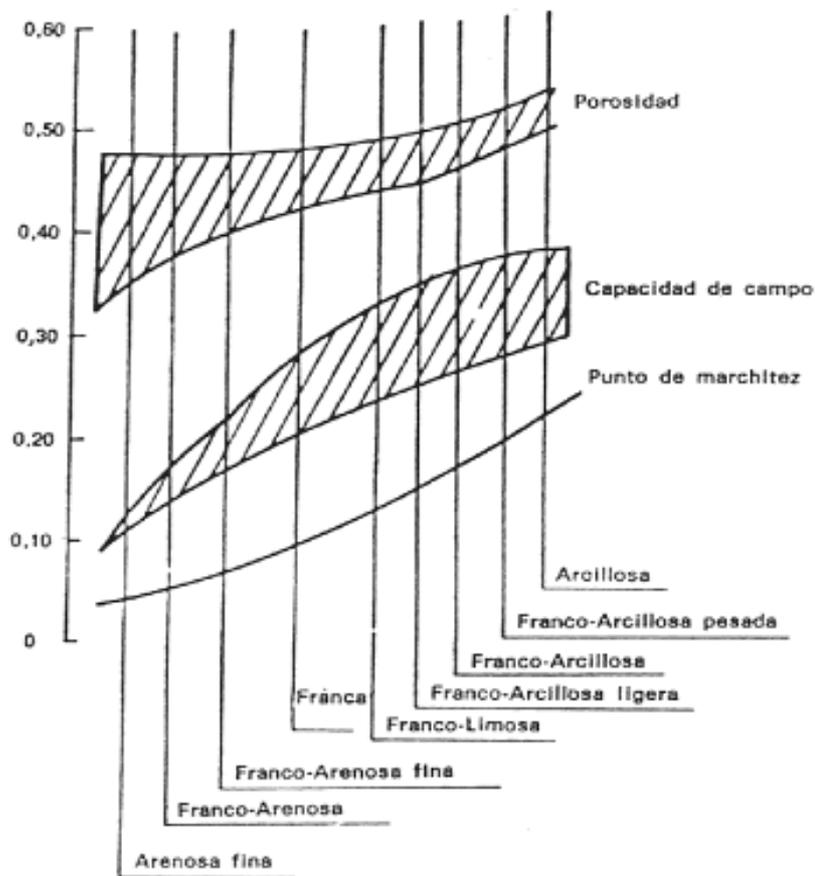
Se denomina **Punto de Marchitez** al agua retenida a 16 atmósferas, por encima de la cual aún estando en el suelo, no está disponible para las plantas pues la fuerza con la que la mantiene relacionada con las sustancias minerales es superior a la capacidad de absorción osmótica de las raíces. Del mismo modo, por debajo de las 3,3 atmósferas, o sea, el agua libre o casi libre tampoco es accesible normalmente por las raíces. A este punto se le denomina **Capacidad de Campo**. Así, el rango de valores entre los que el agua le es útil a las plantas está entre el ambos conceptos, y los determinará a igualdad de otros factores la textura, pues según sea esta podrá ser la formación de poros, capilares y coloides.

En los siguientes gráficos puede observarse como un suelo arenoso puede precisar que llueva más del triple y con mayor regularidad, que un suelo franco arcilloso, evidenciando la importancia de la composición del suelo para la lluvia aparente para las plantas.



CONTENIDO EN ARCILLA CRECIENTE

**PROPORCIÓN EN VOLUMEN DEL AGUA DEL SUELO O DEL ESPACIO OCUPADO POR LOS POROS**



Capacidad de retención de agua de varios suelos en base a su textura. Para una textura franco-arenosa fina, la diferencia aproximada entre porosidad, 0,45, y capacidad de campo, 0,20, es 0,25, lo que significa que el espacio ocupado por los poros vacíos es 0,25 (un cuarto) del volumen del suelo. La diferencia entre capacidad de campo y punto de marchitez es la capacidad de agua disponible (disponibilidad de agua) (Según U. S. Department of Agriculture, 1955, modificado.)

Si la proporción de cada forma de presencia del agua en el suelo depende principalmente de la textura, o distribución de los tamaños de las partículas minerales, la efectividad de una precipitación será pues función de como esté construido el suelo, que condicionará la forma en la que el agua está de forma útil.

Agua	<u>Diámetro de los poros</u> (mm)	<u>Diámetro de las partículas</u> (mm)
Higroscópica	no rellena poros	
Capilar	< 0,008	< 0,05
Gravitacional de evacuación lenta	0,008-0,05	0,05-0,2
Gravitacional de evacuación rápida	< 0,05	> 0,2

(Briggs, 1977)

Así, además de que llueva o deje de llover, es muy importante que el suelo esté en condiciones de sacarle provecho al agua, o sea que tenga una buena textura y proporción de partículas pequeñas (sin excederse). Si se maltrata al suelo será necesario que llueva mucho más para que mantenga su productividad. Lo que cambia son las proporciones de cada forma de interrelación agua-suelo:

- Gravitacional, se mide por la capacidad de infiltración, y la fuerza que mueve el agua es la gravedad. El agua está en el suelo de paso, salvo que la capa freática suba, o se encuentre con una horizonte impermeable y no pueda bajar más, produciendo encharcamiento. A medida que encuentra poros y coloides disponibles, va entrando en el suelo. Sirve sólo pues de vehículo para mojar el suelo.

Pueden diferenciarse dos estados: agua libre de evacuación rápida, y agua en macroporos de evacuación lenta (moja durante más tiempo).

- Capilar, cuya cantidad es función de la porosidad del suelo. A las plantas no les basta pues que llueva, es necesario que el suelo pueda ponerles el agua a su disposición en los poros, que son los soportes del agua útil. Así cuanto mejor sea su distribución, más productivo será el suelo.

<u>Abundancia</u>	<u>n° poros/dm<sup>2</sup></u>
Rara	< 5
Escasa	5-10
Normal	10-100
Abundante	> 100

Y la formación de poros depende en gran medida de la textura, lo que explica porqué en suelos arenosos, a igualdad de régimen climático, se dispone de menor productividad:

	<u>Diámetro</u> (µm)	suelo franco arenoso	suelo arcilloso
macroporos	< 60	33	10
mesoporos	2-60	33	40
microporos	< 2	33	50

La capilaridad se mide a través de la **Capacidad de Retención**: cantidad máxima de agua capilar o cantidad de agua retenida si se deja escurrir al suelo. La fuerza que mueve el agua es la tensión superficial.

La formación de poros no depende sólo del tamaño de las partículas, sino también de la descomposición de la materia orgánica, o sea, en terrenos degradados o agrícolas abonados con fertilizantes inorgánicos, la menor cantidad de humus y materia en descomposición, seca el suelo por reducir la porosidad.

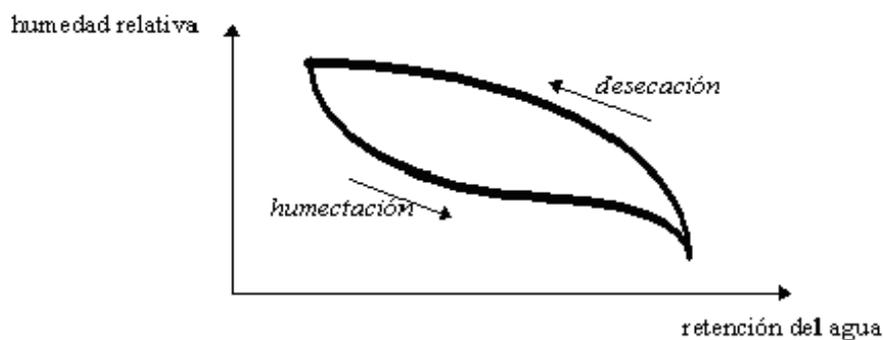
<u>Textura</u>	<u>Contenido en MO</u>	<u>Capacidad de retención</u>
Suelos arenosos	Bajo	Muy escasa (poros grandes)
	Alto	Escasa (al formarse grumos pueden crearse algunos poros)
Suelos limosos	Bajo	Muy elevada (la textura limosa es la adecuada)
	Alto	Elevada (al formarse grumos se crearán macroporos)
Suelos arcillosos	Bajo	Casi nula (por su estructura laminar)
	Alto	Elevada (poros formados por grumos con part. pequeñas)

- Coloidal, que retiene a las moléculas eléctricamente bipolares de agua según sea la carga estática del exterior de las partículas minerales. En ello participan pues, agua higroscópica y coloides (partículas muy finas):
  - *basoides o electropositivos* (hidratos de Al, Fe,...) con mayor abundancia relativa en suelos tropicales
  - *acidoideas o electronegativos* (humus y resto de compuestos minerales) con mayor abundancia relativa en climas templados

Según la textura y materia orgánica, será el volumen de agua coloidal respecto al total retenido por el suelo, ya que para un mismo peso, la superficie de las partículas en contacto con el agua aumenta cuanto menores son aquellas. Así conforme aumenta el diámetro, disminuye la proporción de agua de reserva en el complejo coloidal:

arcillas	40-45%
limos	18-40%
arenas finas	15-18%
arenas	3-15%
arenas gruesas	0,2-3%

El complejo húmico consigue así retener el agua de tal modo que es más fácil recibirla que cederla, (mojarse que secarse), ya que la fuerza que retiene el agua es electrostática por su polaridad, lo que representado en un gráfico de escala logarítmica sería:



El agua higroscópica, adherida electrostáticamente a los coloides del suelo, es un almacén, que puede dosificar agua cuando hay escasez, en procesos que se describirán más adelante.

La estructura física del suelo sustenta a los demás estados sinérgicos y actúa para ellos de reserva de agua, materiales y nutrientes. Así como la gravitacional distribuye el agua por todo el suelo, y la capilar la pone a disposición de las plantas junto con los nutrientes disueltos, la coloidal cumple la función de estabilización del suelo a través de la dosificación del suministro de energía, (1gr de humus guarda 4 Kcal para su propia descomposición), nutrientes y agua a las plantas. La polaridad de los coloides (disposición de cargas positivas o negativas en su superficie), fija a su alrededor iones de carga contraria, (que son liberados a la libre disolución por el intercambio iónico), y moléculas de agua (bipolares). De las sustancias disueltas toman las raíces los nutrientes en base a:

- gradiente de concentraciones entre suelo y raíz
- pH y competencia entre iones de diferente absorbencia

La concentración de nutrientes a disposición de las raíces por disolución, depende de la porosidad y de los factores que definen el suelo coloidal, por lo que afectan a los siguientes procesos que regulan el complejo arcilla-humus-agua:

- Velocidad de polimerización del humus por la actividad microbiana, en base a la temperatura y pH
- Velocidad de descomposición de la roca madre por las raíces y el agua (muy dependiente de la compacidad de la roca: es mucho más lenta la formación de suelo sobre una roca metamórfica compacta, que sobre una sedimentaria escasamente cementada)
- Floculación y dispersión de los coloides. La capacidad de dosificación se realiza por procesos de agrupación de los coloides en gel, (floculación), o separación (dispersión), en base a:
  - cantidad de agua y potencial de retención
  - solución coloidal (agua higroscópica)
  - solución disponible para las raíces (agua capilar)
  - pH, en suelos predominantemente electronegativos:
  - la acidez facilita la floculación (silíceos o muy lavados)

no todas las sustancias disueltas tienen la misma querencia al coloide, la serie liotrópica de menor a mayor floculabilidad es:



- la basicidad facilita la dispersión (calizos)

la serie liotrópica de menor a mayor dispersabilidad es:



En suelos electropositivos, (predominancia relativa de basoides), la acidez facilita la dispersión y la basicidad la floculación.

- Fijación de nitrógeno gaseoso ( $\text{N}_2$ ) por micorrizas, presentes principalmente en asociación con las raíces de las leguminosas

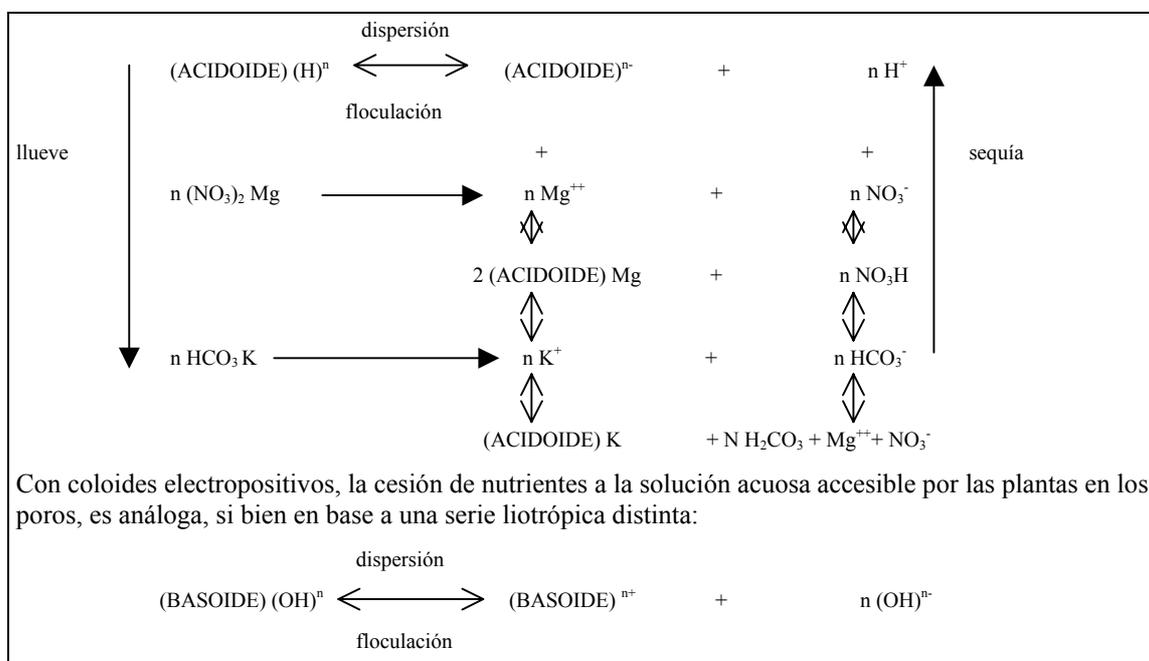
Pero todos estos no son constantes, sino que dependen de las variaciones en:

- régimen termométrico, ya que determina la transpiración de las plantas y la actividad de los microorganismos
- régimen pluviométrico, ya que por su cuantía y torrencialidad define, a igualdad de otros factores, el agua que queda en el suelo y la que drena

Por ello el suelo se adapta dinámicamente a dichas variaciones, dentro de unas tolerancias características de cada tipo de suelo. Así, de forma análoga al concepto de valencia ecológica, puede definirse el de valencia edafológica. El rango de tolerancia edafológica de un suelo, junto con su velocidad de reconstrucción marcan su fragilidad frente a actuaciones externas, como puede ser la acción humana. Es por tanto la medida de la facilidad de entrar en un proceso de regresión.

Los procesos de adaptación dinámicos al régimen termométrico se manifiestan en el ritmo estacional de actividad microbiana; y los de adaptación a la cantidad de agua en el suelo funcionan a través del intercambio iónico, y sirven para poner a disponibilidad de las plantas a los nutrientes.

Cuando varían las condiciones del suelo, el intercambio sucede en base a las series liotrópicas: del agua hidrolizada,  $(\text{H})^+$  y  $(\text{OH})^-$ , con cationes (+) y aniones (-), y viceversa, y de cationes y aniones con otros de menor o mayor floculabilidad (algo así como en un juego en el que hubiera menos sillas, o coloides, que personas, o nutrientes, pero que además algunos son más rápidos que otros). O sea, según vayan variando las condiciones externas, el suelo libera agua y nutrientes de modo diferente. Veamos un ejemplo.



Así cuando existe disponibilidad de agua, el intercambio iónico de los coloides con la solución, pone al alcance de las raíces los nutrientes necesarios, que son absorbidos típicamente en suelos de

predominio de coloides electronegativos, como los de los climas templados, por succión del agua debido a la transpiración de la parte aérea, y por ósmosis:

- activa de aniones (-), con consumo de energía a través de la conversión ATP en ADP, (moléculas especializadas en las plantas)
- pasiva de cationes (+), sin consumo de energía

(En suelos tropicales el modo de absorber cambia en el signo de cesión de energía)

Vemos pues que la fragilidad del complejo coloidal define la inestabilidad de un suelo frente al lavado (arrastre de partículas y nutrientes por el agua gravitacional), y su capacidad de regeneración por la reserva de agua, descriptible a través de las variables de la porosidad y del complejo coloidal, suponiendo circunstancias normales de disponibilidad de agua y actividad microbiana.

Pero el suelo no es un sistema cerrado, o sea, existen procesos adicionales de transporte con los que en su madurez está en equilibrio dinámico (salvo catástrofe):

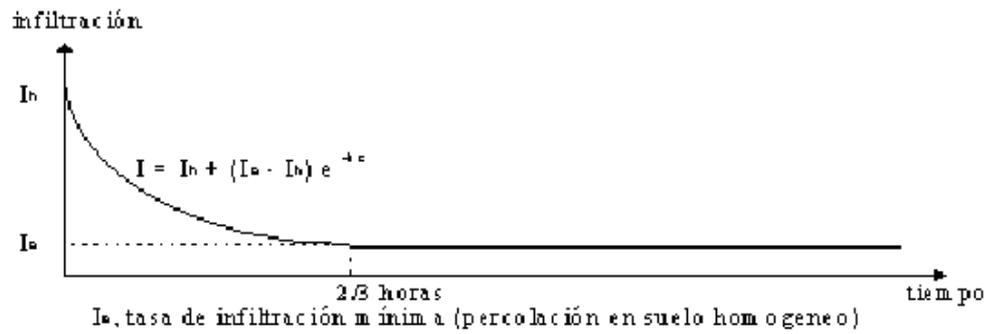
- infiltración (drenaje interno)
  - por la escorrentía hipodérmica (en capas superiores)
  - por la escorrentía subterránea (en capas inferiores)
- erosión
  - por la escorrentía superficial
  - por el viento
- sedimentación

Si el agua drena al exterior del perfil edáfico, mueve los iones disueltos e incluso los coloides. En un suelo maduro el aporte de nutrientes por la roca madre está estabilizado con el lavado, en un suelo en proceso de empobrecimiento, es mayor este último, y encontramos lo que hemos definido como procesos de regresión.

Las migraciones pueden ser:

- descendentes, con iluviación de coloides (floculación en capas inferiores) si encuentran:
  - horizonte impermeable
  - abundancia de raíces (escasez de agua)
  - capa con pH mayor
- oblicuas, en suelos en pendiente (suelos azonales)

La lluvia cae en una distribución de intensidades diferente en cada aguacero y el suelo la percola (la percolación equivale a la infiltración mínima o filtración en un suelo saturado), a una velocidad también propia. Si la precipitación aporta agua con mayor intensidad de la que es capaz el suelo de absorber, se produce escorrentía superficial. Una vez el suelo se ha saturado de agua, la que no absorbe en el complejo coloidal, poros y capilares, drena hasta encontrar un horizonte de iluviación, que puede llegar a ser impermeable (suelos encharcados); o hasta profundidades extraedafológicas, ya sea vertical u oblicuamente, lavando fuera del sistema los nutrientes, y sobretodo alimentando los enormes depósitos de agua subterránea. Al desaprovechamiento del agua entonces habrá que añadir, el desaprovechamiento de los nutrientes. La infiltración disminuye pues con el tiempo hasta la saturación, según un modelo del tipo:



Siendo los valores normales de  $I_e$ :

<u>Tasa de infiltración mínima</u> (mm/h)	<u>Características del suelo</u>
8-12	Arenosos y limosos profundos, con agregados
4-8	Limosos someros, franco-arenosos profundos
1-4	franco arcillosos, franco-arenosos someros, con bajo contenido en materia orgánica o alto en arcilla
0-1	Arcillosos, plásticos y pesados. Algunos salinos

(Musgrave y Holtan, 1964)

## MUESTREO Y ANÁLISIS DE SUELOS

Se han descrito los procesos regresivos (degeneración de la sinergia suelo-agua-humus, con pérdida de la capacidad de aprovechamiento del agua y los nutrientes), y degradativos (pérdida de suelo ó transporte de lo erosionado mayor que la sedimentación), pero para medir hasta donde se ha llegado o hasta donde se puede llegar con una determinada acción, es preciso cuantificar las variables del suelo. Tanto si es a través de modelos de simulación y cuantificación causa-efecto de dichas acciones, como si es por comparación directa entre suelos con diferentes condicionantes, será preciso medir las variables del suelo zonal, del suelo en degradación, o de ambos.

Como el suelo no habla, para que nos conteste la encuesta que interesa, deberán tomarse muestras, y para realizar una toma de datos estadísticamente representativa, es recomendable seguir una sistemática estratificada (subdividir los suelos en grupos homogéneos en sus condicionantes externos de clima, pendiente y vegetación, y encuestar independientemente a cada subdivisión). Aquí nos referiremos a los aspectos del suelo que interesa medir y como.

En cualquier caso, previo al muestreo estadístico, será preciso recoger información de los factores que definen el suelo, para comprender su génesis:

- *precipitación*
- *pluviosidad*
- *torrencialidad*
- *temperatura*
- *máximas y mínimas absolutas*
- *media de los meses más fríos y calurosos*
- *oscilaciones*
- *biocenosis*
- *microfauna (lombrices,...)*
- *vegetación*
- *orografía*
- *pendientes*
- *litología*
- *acción humana*
- *prácticas culturales*
- *rendimientos* (a ser posible, su secuencia histórica)

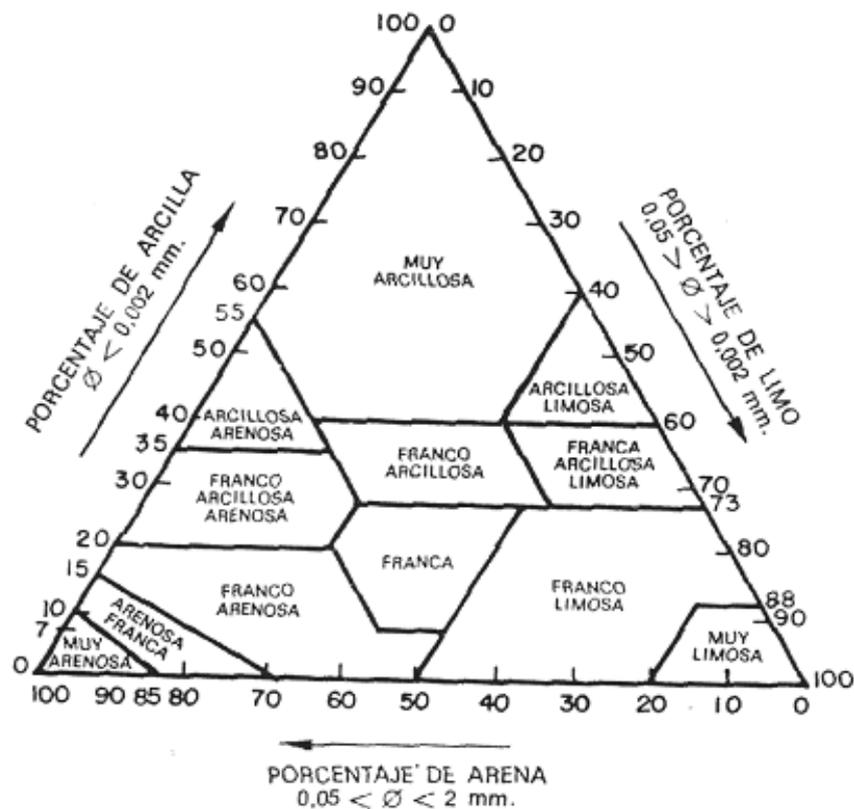
Estos factores externos delimitan posibles suelos genéticamente diferentes, y sirven de base para la estratificación del muestreo, definiendo sobre un mapa zonas homogéneas en sus factores externos, que previsiblemente generaran suelos similares. Cada una de las zonas serán pues una unidad de muestreo, donde según sean las posibilidades presupuestarias y las necesidades de aproximación en el análisis, se tomarán y analizarán desde una a numerosas muestras de suelo.

Una vez conocida la génesis prevista (euclímax edáfico), es recomendable tomar datos estadísticos de la estructura física:

- *Profundidad del suelo*
- *Pedregosidad*
- *Profundidad de la capa freática*

En función de las variables a medir, será preciso una muestra del horizonte A (capa superior), o la excavación de una calicata con una profundidad de hasta 80 cm para el estudio del perfil completo. Seguidamente hay que preparar las muestras para estabilizarlas en humedad y desmoronar las agrupaciones físicas (terrones). Los análisis de las muestras (en función de las varianzas de cada variable será preciso distinto número de análisis en cada una), normalmente incluirán:

- Textura, distribución porcentual de las partículas físicas del suelo por procedimientos de tamizado (gravas, gravillas, arenas y limos), o velocidad de depósito de suspensiones de la preparación en agua (arcillas). El resultado puede expresarse gráficamente de varias maneras:



(U.S. Soil Service)

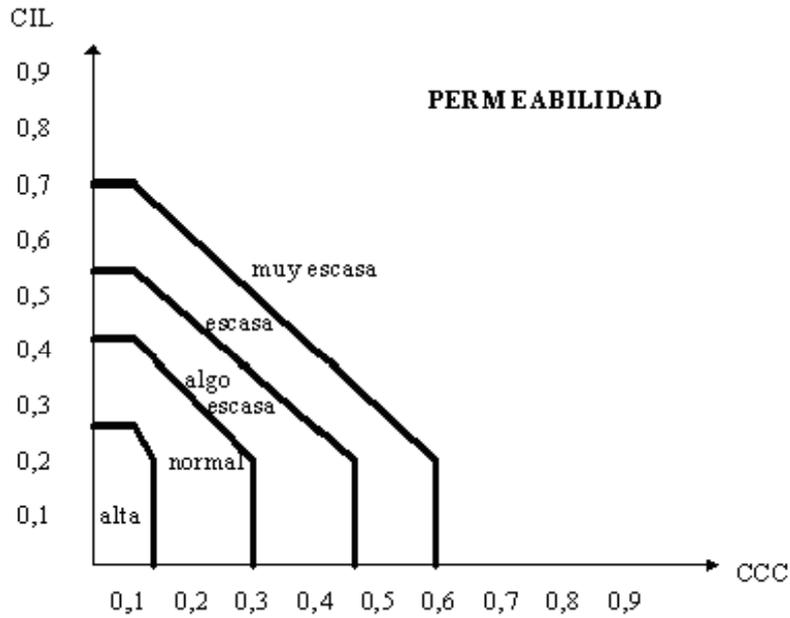
Con esta información puede calcularse además:

- *capacidad aglomerante*, (CCC):

% de arcilla en tierra fina / % de tierra fina en el total

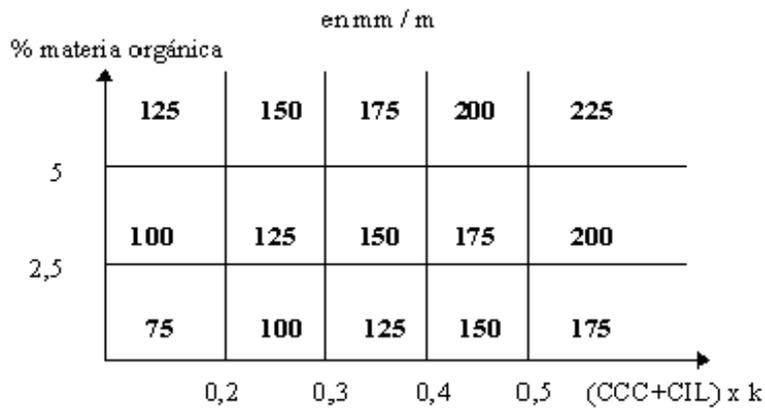
- *permeabilidad* (CIL):

% de limo en tierra fina x % de tierra fina en el total / 10.000



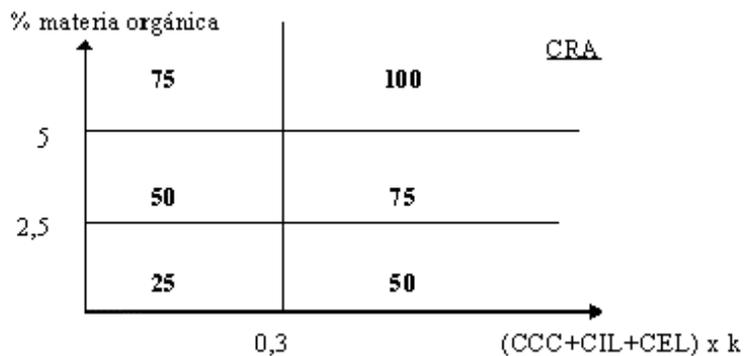
- *capacidad de retención del agua (CRA):*

si  $k$  es la pendiente en tanto por uno y  $(CCC+CIL) \times k > 0,1$ , CRA puede extraerse directamente del siguiente gráfico:



si es un suelo arenoso y  $(CCC+CIL) \times k < 0,1$ , es preciso introducir una variable adicional, el coeficiente de evacuación lenta (CEL):

$$CEL = \% \text{ de arena fina en tierra fina} \times \% \text{ de tierra fina en el total} / 10.000$$



Así, en general los suelos podrán clasificarse por su Capacidad de Retención según *Monturiol*, 1978:

<u>Capacidad de Retención</u>	<u>Capacidad de Campo</u>
Baja	< 15
Media	15-30
Alta	> 30

(expresado en % de humedad referida a tierra fina)

Los suelos excesivamente arcillosos, por su compacidad tienen percolación lenta y alta capacidad de retención. Los arenosos rápida infiltración, pero poco eficaz. La optimización del aprovechamiento de agua está en un calibrado ponderado.

<u>Textura</u>	<u>Permeabilidad (micras/sg)</u>
Grava gruesa	1100
Grava arenosa	160
Grava fina	71
Grava limosa	4,6
Arena gruesa	1,1
Arena media	0,29
Arena fina	0,096
Limo	0,15
Arcilla	< 0,001

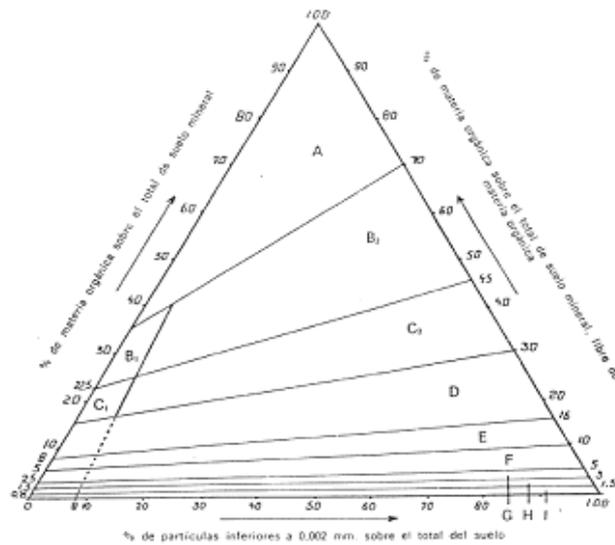
(Lane y Washburn, 1946)

• *Materia orgánica*, por la cantidad de carbono oxidable presente en el humus (58% según Waksman). Existen diferentes procedimientos de medición entre los que están:

- *oxidación* en disolución y valoración del exceso de oxidante
- *reacción* con el calcio en presencia de oxígeno y anhídrido carbónico

En climas templados o fríos, los resultados pueden clasificarse en:

Deficiente	(desertización)	< 2%
algo deficiente		del 2 al 4%
Normal		del 4 al 10%
Excesivo	(hidromorfía)	> 10%



**Nomenclatura de las clases:**

- |  |                                   |
|--|-----------------------------------|
| I — Suelo extremadamente pobre en humus. | C <sub>1</sub> — Arena turbosa.   |
| H — Suelo muy pobre en humus.            | C <sub>2</sub> — Arcilla turbosa. |
| G — Suelo moderadamente pobre en humus.  | B <sub>1</sub> — Turba arenosa.   |
| F — Suelo moderadamente húmico.          | B <sub>2</sub> — Turba arcillosa. |
| E — Suelo muy húmico.                    | A — Turba.                        |
| D — Suelo rico en humus.                 |                                   |

Estas clases se subdividen y califican por las clases texturales correspondientes (por ejemplo, suelo muy húmico franco-limoso).

(Netherlands Soil Survey Institute, 1969)

Pero también es importante la calidad húmica, que se mide con el coeficiente C/N, o relación entre carbono y nitrógeno:

muy mala	30-50
mala	20-30
deficiente	15-20
mediana	12-15
buena	8-12
muy buena	7-8

- *Acidez*, o determinación del pH con métodos colorimétricos o potenciométricos (pHímetros, electrodos,...), en una disolución del suelo de concentración coloidal conocida (normalmente 1 / 2,5). Una de las clasificaciones más usadas es la de *Wilde*:

pH	clasificación
< 4,0	extremadamente ácido
4,0 - 4,7	muy fuertemente ácido
4,7 - 5,5	fuertemente ácido
5,5 - 6,5	moderadamente ácido
6,5 - 7,3	Neutro
7,3 - 8,0	moderadamente básico
8,0 - 8,5	fuertemente básico
> 8,5	extremadamente básico

Conforme aumenta el pH, o sea la concentración de cationes de hidrógeno (H<sup>+</sup>), se incrementa la dispersión para los coloides electronegativos (acidoides), y la floculación para los electropositivos

(basoides), por lo que se facilita el lavado en un caso y se dificulta la absorción de nutrientes en el otro. Si disminuye el pH, el efecto es el contrario. Por ello, y dentro de las tolerancias de la biocenosis existente, el óptimo se encuentra en un término medio donde ambos tipos puedan absorberse.

- *Intercambio iónico*, cuantificable a través de:
  - **Capacidad de Cambio** (T), o cantidad máxima de cationes fijables
  - *Suma de cationes metálicos intercambiables* (S), referido a los alcalinos y alcalinoterreos, normalmente  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$
  - **Tanto de Saturación** (V), relación entre ambosSu evaluación puede realizarse por métodos analíticos a través de percolaciones progresivas en una solución salina tamponada.
- *Microorganismos*: protozoos, algas, bacterias, actinomicetos y hongos. En condiciones de esterilidad se realizan cultivos de laboratorio:
  - *sólido*, para la microflora
  - *sólido en medio selectivo*, para hongos y actinomicetos
  - *líquido*, para fijadores de nitrógeno, amonificantes, nitrosantes, nitratantes, celulóticos anaerobiosLos resultados se expresan en número de microorganismos por gramo.
- *Solución de nutrientes*, o concentración de diferentes elementos que definen la fertilidad del suelo. No entraremos en los procedimientos analíticos de determinación, pero sí a enumerar los más corrientes:
  - *Conductividad*, o concentración de sales en disolución
  - *Cloruros y sulfatos*
  - *Nitrógeno*
  - *Carbonatos*
  - *Oxidos metálicos*
  - *Fósforo*
  - *Potasio*
  - *Calcio*
  - *Magnesio*
  - *etc...*

Salvo casos concretos de mucho detalle, este nivel de aproximación puede resultar excesivo en la determinación de estados regresivos por lavado de nutrientes, pues como hemos visto lo que lo determina es la sinergia entre partículas minerales y agua.

Dada la variabilidad de las acciones a realizar, y sobretodo que no se puede prescindir de un análisis de suelos para cuantificar estos procesos, los modelos de simulación no son de aplicación general, y es más práctico, siempre que sea posible, extender el análisis a suelos similares en grado zonal y degradado para identificar las diferencias y estimar así los efectos.

La información obtenida en los análisis puede traducirse a índices de degradación (erosionabilidad edáfica) o regresión (empobrecimiento, compactación):

1. Erosionabilidad (inversa de la capacidad de resistencia a la erosión)

- *Bennet*, en suelos silíceos (roca madre de granito, pizarras metamórficas, areniscas no calizas,...), si los coloides de hierro y aluminio son más de la mitad que los de sílice, es un síntoma de resistibilidad

$$SiO_2 / Al_2O_3 + Fe_2O_3$$

cuanto menor sea su valor, menor fragilidad y mayor fuerza de enlace coloidal

- *Bouyucos*, si el porcentaje de arcilla es mayor que la mitad del porcentaje de arena y limo indica resistencia

$$\% (arena+limo) / \% arcilla$$

cuanto menor sea su valor, mayor compactación

la compactación aumenta la escorrentía superficial al disminuir la capacidad de infiltración (establecimiento de puentes catiónicos entre coloides más difíciles de romper que de formar), protege frente a la erosión (menor erosionabilidad), pero dificulta la capacidad de regeneración del suelo.

- *Brasileño*: ***% arena en horizonte A x pendiente / % arcilla en horizonte B***
- *Middleton*, define el coeficiente de erosionabilidad,  $C_e$ , a través del cociente entre el coeficiente coloidal,  $C_c$ :

$$C_c = \% coloides / equivalente de humedad$$

(eq.de humedad es el % de agua en el suelo al someterlo a una aceleración de 1.000 g)

y del coeficiente de dispersión,  $C_d$ :

$C_d = \% (arcilla+limo) sin dispersante \times 100 / \% (arcilla+limo) con dispersante$  indicadores de resistencia del complejo coloidal son valores de  $C_d$  superiores a 15 y de  $C_e$  a 10

- *Indices litológicos de la FAO*

Tipo de roca		Resistibilidad
Rocas duras	Rocas básicas	0,9 - 0,8
	Rocas ácidas	0,9 - 0,5
	Rocas metamórficas	0,8 - 0,6
	Areniscas consolidadas	0,6 - 0,5
Rocas blandas	Calizas friables	0,7 - 0,6
	Dolomías	0,7 - 0,5
	Esquistos blandos	0,3 - 0,2
	Terrenos plásticos	0,4 - 0,3
	Margas y arcillas	0,2 - 0,1
Depósitos antiguos	Yesos	0,2 - 0,1
	Fluviales	
Depósitos modernos	Glaciares	0,6 - 0,2
	Morrenas	
	Glaciares	

Coluviales

Torrenciales

0,3 - 0,1

---

- K de *Wischmeier*,

$$100 \times K = 2,71 \times 10^{-4} \times (12-a) \times M^{1,14} + 4,2 \times (b-2) + 3,23 (c-3)$$

Siendo

$M = (100 - \% \text{ arcilla}) \times (\% \text{ limo} + \% \text{ arena fina})$

a = % de materia orgánica (máximo de 4)

b, la estructura según el gránulo y grumo (terrones):

		<u>b</u>
muy fino	< 1 mm	1
fino	1-2 mm	2
medio y grueso	2-10 mm	3
muy grueso	> 10 mm	4

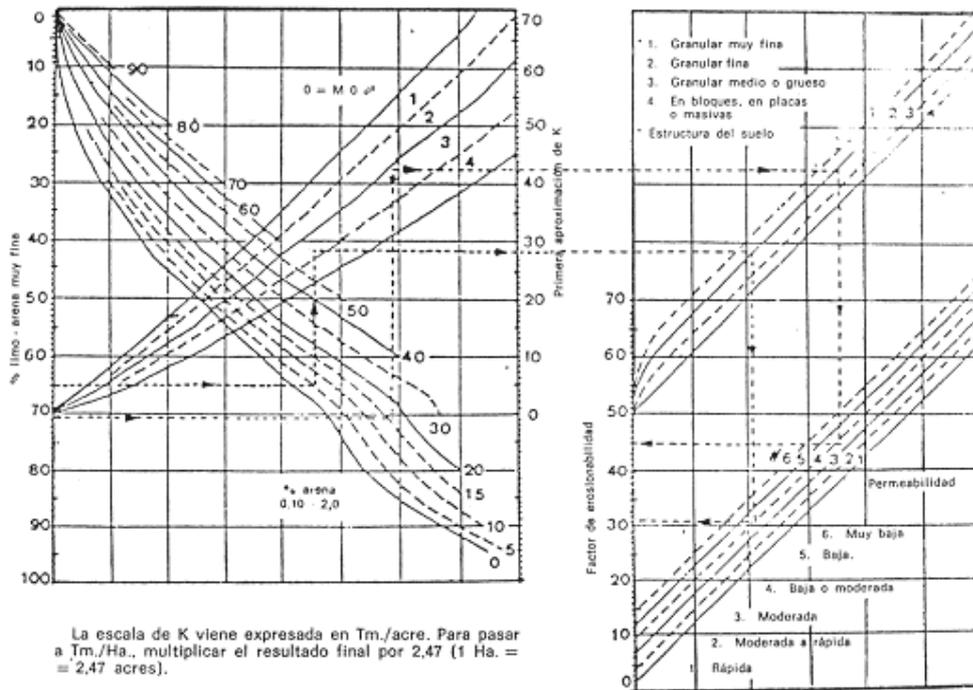
c, la permeabilidad:

		<u>c</u>
muy rápida	> 125 mm/h	1
moderadamente rápida	65-125 mm/h	2
rápida	20-65 mm/h	3
moderadamente lenta	5-20 mm/h	4
lenta	0,2-5 mm/h	5
muy lenta	< 0,2 mm/h	6

En una primera aproximación puede prescindirse del segundo y tercer sumandos:

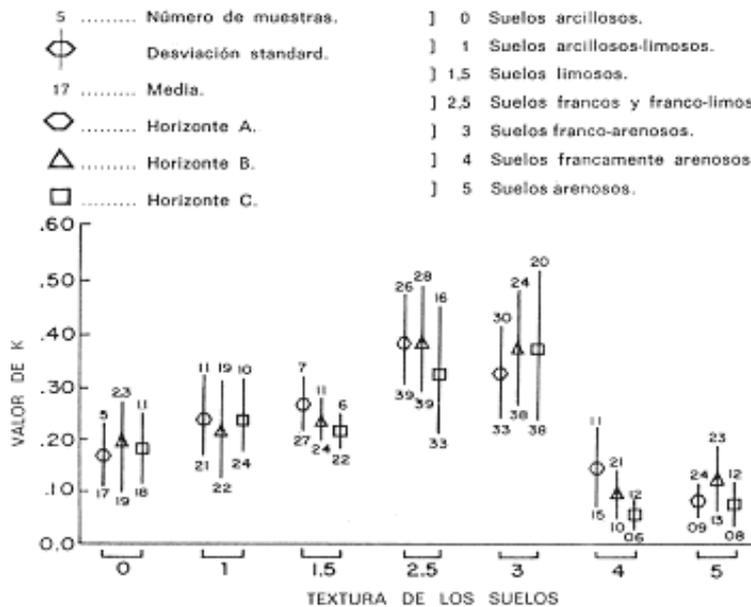
$$K = 2,71 \times M^{1,14} \times (12-a) \times 10^{-6}$$

Para evitar el cálculo numérico puede utilizarse el siguiente nomograma, en la que se entra por el % limo y arena fina (0,002-0,1 mm) y en horizontal se busca el % de arena (0,1-2 mm), subiendo en vertical hasta el valor del % de materia orgánica y hallando en horizontal el valor de la primera aproximación de K. Si se dispone de datos de estructura y permeabilidad, se entra con la K hallada y se busca en horizontal el valor de b, de ahí en vertical hacia abajo el valor de c, y a su vez en horizontal y sentido contrario se determina el valor definitivo de K:



Los valores serán siempre inferiores a 1, lo que como veremos más adelante significa que resisten frente a la agresividad. La máxima erosionabilidad edáfica sería  $K = 1$ , valores por debajo de 0,4 indican resistibilidad del suelo, que pueden ser menores si además se trata de suelos pedregosos, debido a su resistencia frente a las gotas de agua y al transporte:

VARIACION DEL VALOR MEDIO DE K PARA CADA HORIZONTE DENTRO DE CADA GRUPO DE SUELO  
(Datos de un muestreo experimental de Mich. Ag. Expt. Sta. Project 413)  
(TILMANN y MOKMA, 1976)



(Romkens, 1989)

Revisiones posteriores de esta variable (RUSLE, Lane 1988), proponen matizaciones estacionales a este valor, que sería variable en función de la humedad edáfica, considerable tan solo a niveles de detalle mayores a los aquí referidos.

Los suelos sobre roca compacta son 3 veces más erosionables que sobre rocas sedimentarias blandas, y son mucho más lentos en su construcción al ser la disgregación más difícil, por lo que la máxima fragilidad (resistencia+reconstrucción) se da en suelos de base granítica y calcárea compacta.

GRUPOS DE SUELOS POR SU ORIGEN



## 2. Empobrecimiento de nutrientes

La medida del grado de regresión se realiza por análisis comparativo de:

- madurez del complejo coloidal
- textura-materia orgánica-pH
- capacidad de retención (CRA)
- velocidad y calidad de la polimerización del humus
- microorganismos
- C/N
- fertilidad (NPK)

entre un suelo en regresión y otro zonal similar

3. Impermeabilización (del horizonte A o B), ya sea por compactación, iluviación, podsolización,... puede medirse en función de su causa a través de:

- textura (arcillosa)
- capacidad aglomerante (CCC, *Bouyucos*)
- permeabilidad
- cantidad y calidad de la materia orgánica (C/N)
- concentración de óxidos metálicos

No siempre es posible realizar un exhaustivo estudio edafológico para determinar las variables de la degradación de suelos. Para grandes extensiones se pueden aproximar los análisis de laboratorio por estimaciones indirectas basadas en cartografía temática:

- *clima* (evolución zonal del suelo), para cuantificar las posibilidades de desarrollo puede utilizarse el índice de *Henin-Aubert* (D), obteniéndose el máximo desarrollo posible del suelo zonal:

$$D = \lambda \times P^3 / (1 + \lambda \times P^2)$$

Siendo,  $\lambda = \alpha / (0,15 \times T - 0,13)$

T, la temperatura media anual (°C)

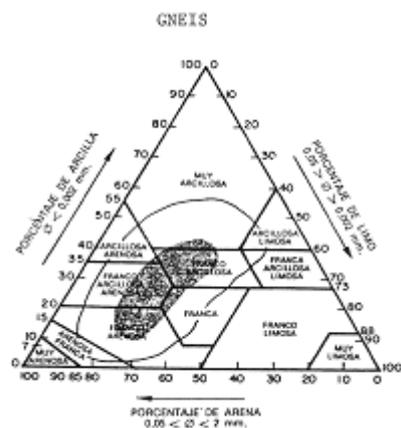
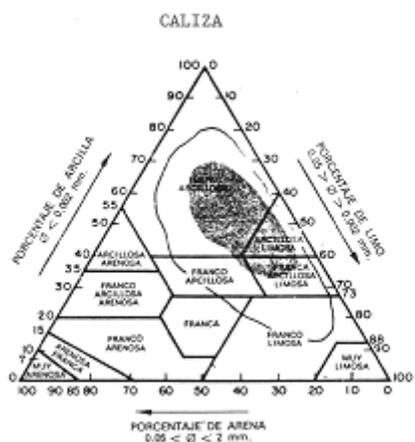
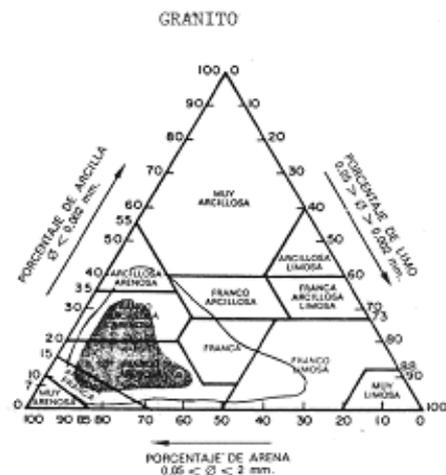
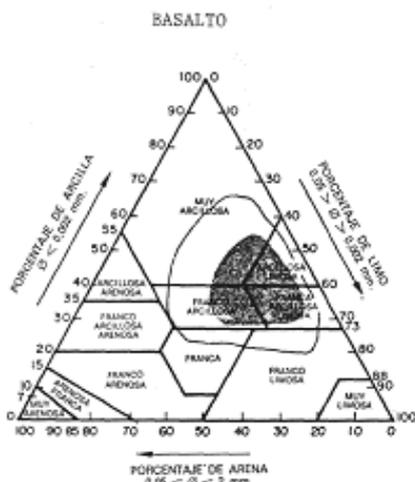
P, la precipitación media anual (mm)

$\alpha$ , coeficiente de suelo: 0,5 para suelos arcillosos a limosos, 1 para suelos franco arenosos, y 2 para suelos arenosos (si hay horizontes con diferente composición, se utiliza la media ponderada)

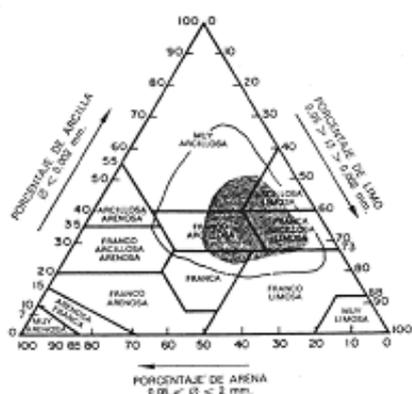
Los resultados más habituales están entre:

suelos	perfil	D
someros, poco evolucionados	(AC)	< 0,1
Evolucionados	(ABC)	> 0,2

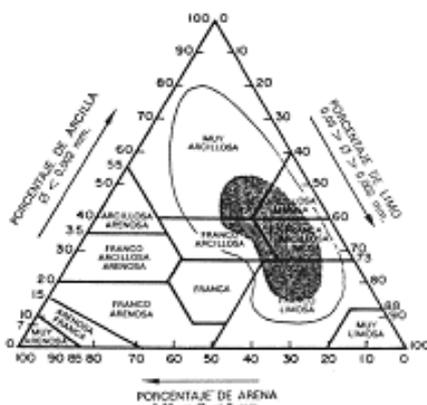
- *orografía* (pendientes)
- *litofacies* (geología y roca madre)



PIZARRAS METAMORFICAS



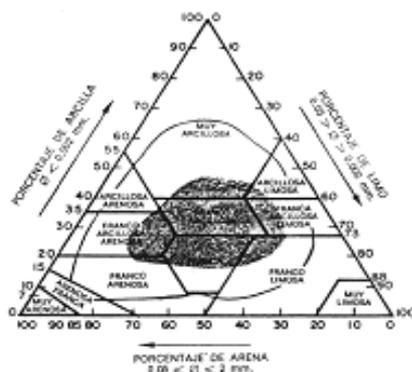
PIZARRAS SEDIMENTARIAS



ARENISCA



ROCAS SEDIMENTARIAS



(Way, 1973)

- *vegetación* (climática y actual), pues de ella y su estado fitosanitario pueden estimarse indirectamente distribuciones de materia orgánica, pH,... por sus características ecológicas

<u>Vegetación</u>	<u>Textura</u>	<u>Disponibilidad de agua (% volumen)</u>	<u>Profundidad de las raíces (m)</u>	<u>Disponibilidad de agua en las raíces (mm)</u>
Cultivos de raíz somera	Arenosa fina	10	0,50	50
	Franco-arenosa fina	15	0,50	75
	Franco-limosa	20	0,62	125
	Franco-arcillosa	25	0,40	100
	Arcillosa	30	0,25	75
Cultivos de raíz algo profunda	Arenosa fina	10	0,75	75
	Franco-arenosa fina	15	1,00	150
	Franco-limosa	20	1,00	200

	Franco-arcillosa	25	0,80	200
	Arcillosa	30	0,50	150
<b>Cultivos de raíz</b>	Arenosa fina	10	1,00	100
profunda	Franco-arenosa fina	15	1,00	150
	Franco-limosa	20	1,25	250
	Franco-arcillosa	25	1,00	250
	Arcillosa	30	0,67	200
<b>Huerta</b>	Arenosa fina	10	1,50	150
	Franco-arenosa fina	15	1,67	250
	Franco-limosa	20	1,50	300
	Franco-arcillosa	25	1,00	250
	Arcillosa	30	0,67	200
<b>Bosque maduro</b>	Arenosa fina	10	2,50	250
	Franco-arenosa fina	15	2,00	300
	Franco-limosa	20	2,00	400
	Franco-arcillosa	25	1,60	400
	Arcillosa	30	1,17	350

---

(*Thornwaite y Mater, 1957*)

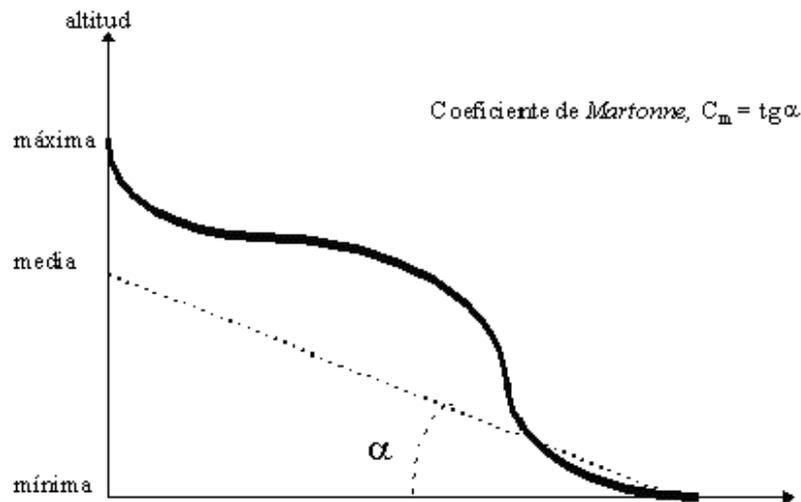
## FRAGILIDAD OROGRÁFICA

Como la fragilidad orográfica en sus dos aspectos (Resistibilidad y Reversibilidad), está directamente relacionada con la pendiente en el mismo sentido (cuanto mayor es ésta, menores son aquellas), su estimación se realiza a través de esta de un modo simple, y es medible en un mapa topográfico por el ángulo (que se calcula directamente por la distancia entre las curvas de nivel, por distar en altura lo mismo). Así, cada punto geográfico tiene, al igual que las demás erosionabilidades, una erosionabilidad orográfica.

La fragilidad orográfica varía geográficamente de forma continua, y para resumirla en un sólo indicador, que además fuera comparable con los demás factores de la fragilidad, *Fourier* en 1960, establecía el coeficiente orográfico para grandes cuencas:

$C_f =$  altura media de la cuenca x coeficiente de *Martonne*

(considerando la superficie que ocupa cada cota de altitud)



Valores inferiores a 6 (pendiente media < 3%), indican resistencia. Su utilidad es escasa debido a lo general de su descripción, sin embargo estima de un modo muy simple el conjunto de la erosionabilidad orográfica. (El mismo dilema de siempre en la cuantificación de las variables naturales: exactitud vs aplicabilidad).

Para análisis ecogeográficos de la fragilidad temática (asignación de valores territorializados), la metodología aquí expuesta considera la transformación del valor de la pendiente en un índice que defina la fragilidad en cada lugar, y no en su conjunto: S. (Su dimensión está prevista para poder ser combinada con las demás fragilidades).

$$S = 10,8 \times \text{sen } @ + 0,03 \quad (\text{para pendientes menores al } 9\%)$$

$$S = 16,8 \times \text{sen } @ - 0,5 \quad (\text{para pendientes superiores al } 9\%)$$

Way en 1978, por el análisis de datos de parcelas con diferentes formas, introducía un concepto adicional al de la pendiente para cuantificar la fragilidad orográfica. Este es el de longitud de declive (d), que es la longitud de una determinada pendiente y evalúa la capacidad de transporte de la lamina de agua al escurrir. En base a dicho concepto, definió el factor L.

$$L = (d/22,3)^m$$

dependiendo m de la pendiente:	0,2	si < 1%
	0,3	si 1-3%
	0,4	si 3-5%
	0,5	si > 5%

También es posible resumir las longitudes de declive de una cuenca en un solo índice, que adolece de las mismas ventajas e inconvenientes que los anteriores, (simplicidad y escasa aplicabilidad geográfica al resumir en un sólo coeficiente el conjunto geográfico considerado):

$$D = \text{área de la cuenca} / \text{longitud total de los cauces de drenaje} \times 2$$

La erosionabilidad orográfica es medible pues, a través de la combinación de la pendiente y la longitud de declive, para lo que se ha definido el índice LS, que expresa la relación entre la pérdida de suelo esperada por unidad de superficie y la que existiría con un 9% de pendiente y 22,3 metros de longitud de declive.

Si  $d < 350$  m y  $s > 10\%$ , ó si  $s > 30\%$

$$L \times S = (d / 22,3)^m \times (0,065 + 0,045 s + 0,0065 s^2)$$

Si  $d > 350$  m y  $s > 10\%$ , ó si  $s < 30\%$

$$L \times S = 0,023 \times d^{0,3} \times s^{1,3}$$

Pero ni las pendientes ni las longitudes de declive son uniformes, por lo que si no se dispone de sistemas informáticos geográficos (que sería lo adecuado), es preciso establecer aproximaciones de LS a través de las causas que han generado la orografía:

- *pendiente*
- *clima*
- *suelo*
- *vegetación*

Han dado buenos resultados regresiones como las que siguen en las que se estima el valor del coeficiente LxS, simplificando su obtención y perdiendo exactitud:

vegetación	0-3%	3-12%	12-20%	20-25%	25-35%	> 35%
Cultivo en secano	0,16	1,00	3,40	7,25	11,00	18,25
Cultivo en regadío	0,16	1,00	3,40	7,25	11,00	18,25
Pastizal	0,16	1,00	3,40	7,25	11,00	23,00
Matorral	0,16	1,00	3,40	5,25	11,00	23,00
Dehesa	0,16	1,00	3,40	5,25	7,25	23,00
Arbolado claro	0,16	1,00	3,40	5,25	7,25	23,00
Arbolado denso	0,16	1,00	3,40	5,25	11,00	23,00
Improductivo	0,16	1,00	3,40	5,25	5,25	23,00

(EILA Proyectos, 1986)

Cada uno de estos valores es la relación entre la erosionabilidad de las condiciones estándar definidas, y las circunstancias de cada zona geográfica orográficamente uniforme (ejemplo: LS=3 significa 3 veces más erosionabilidad que las condiciones estándar, y una LS = 23 significa que provoca una fragilidad orográfica 150 veces superior a otra LS = 0,16).

## EROSIONABILIDAD HÍDRICA

La erosionabilidad de un biotopo en equilibrio, es la combinación de las erosionabilidades debidas a cada factor, cuyas unidades de expresión ya se han elegido de tal modo que sean combinables directamente según los siguientes criterios para su cuantificación:

- *Fourier* (1960), como hemos dicho aplicable tan solo a grandes cuencas y en la consideración de ser una información genérica, o resumen geográfico, y por tanto considerable en el grado de información descriptiva del conjunto considerado, y no de las particularidades de cada punto cartográfico

$$D_f = 0,0275 \times I_f^{2,65} \times C_f^{0,46} \quad (\text{toneladas/kilómetro}^2 \text{ y año})$$

Siendo  $I_f$ , el índice de *Fourier* que mide la fragilidad climática

$C_f$ , el índice de *Fourier* que mide la fragilidad orográfica

La fragilidad en equilibrio resumida para una zona geográfica con diversidad geográfica de erosionabilidades se mediría con la siguiente escala:

<i>Prácticamente nula</i> .....	0/60
<i>Escasa</i> .....	60/600
<i>Media</i> .....	600/1000
<i>Elevada</i> .....	1000/2000
<i>Muy elevada</i> .....	2000/3000
<i>Extremadamente elevada</i> .....	>3000

No considera el estado de la vegetación, grado de actividad humana o nivel de degradación, pues está basado en análisis estadísticos de pérdidas de suelos con el nivel actual de producción. En el *Anexo de Agresividad Climática* puede consultarse el mapa para España.

- *Djorovic* (1974), aplicado en pequeñas cuencas torrenciales de Serbia, en las que se comprobó estadísticamente la bondad de una regresión del tipo:

$$D_f = 3,14 \times T \times P \times F \times Z^{2,3} \quad (\text{m}^3/\text{año})$$

Siendo

T, el factor temperatura  $(1 + 0,1 \times \text{temp. media anual})^{1/2}$

P, la precipitación media anual (mm)

F, la superficie de la cuenca ( $\text{Km}^2$ )

Z, el coeficiente de erosión  $k_1 \times k_2 \times (k_3 + p^{1/2})$

$k_1$ , erosionabilidad del suelo entre 0,5 para los poco erosionables ( $K < 0,2$ ) y 2 para los muy erosionables ( $K > 0,5$ )

$k_2$ , protección del suelo por la vegetación desde 0,05 para bosques y matorral bien cubiertos y 1 para suelos desnudos sin labrar (similar a los valores de C);  $k_2$  es la media ponderada a la superficie que ocupa cada tipo de cobertura vegetal

$k_3$ , estado erosivo, desde 0,2 para cuencas con escasos procesos, hasta 0,1 para las que presentan muy evidente estado degradativo

p, pendiente media (%)

Al igual que en el modelo anterior, el resultado es una medida del grado de degradación de una cuenca hidrográfica en su conjunto, no de cada punto geográfico, sin embargo presenta la ventaja frente al método de *Fourier* de poder comparar la erosionabilidad real y la potencial, que es el grado de desequilibrio establecido por la explotación de los recursos naturales, o fragilidad según la tabla:

<i>Prácticamente nula</i> .....	0,0/0,2
---------------------------------	---------

<i>Escasa</i> .....	0,2/0,4
<i>Media</i> .....	0,4/0,7
<i>Elevada</i> .....	0,7/1,0
<i>Muy elevada</i> .....	1,0/1,5
<i>Extremadamente elevada</i> .....	> 1,5

Es un modelo más aplicable que el anterior a la Planificación de Usos y Aprovechamientos del Territorio como herramienta de lucha contra la desertificación, al referirse a pequeñas cuencas torrenciales, y considerar a través de k2 y k3 la protección del suelo por la vegetación y el estado regresivo, sin embargo está escasamente contrastado en España.

- Modelo *USDA*, Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo.

En un ecosistema no desertizado ni en proceso de desertización, la vegetación está en equilibrio con el suelo, y lo protege al menos en la misma medida que le permite producir nuevo suelo.

La protección natural del suelo es cuantificable a través de la capacidad de la vegetación en reducir la energía de caída del agua, aumentar la infiltración, incrementar la intercepción, y disminuir la escorrentía superficial: factor C.

En vegetación natural, los valores expresados en tanto por 1 de protección respecto al mismo suelo removido pero sin protección alguna, pueden representarse con:

Cubierta herbácea, despojos vegetales y humus (%)									
Uso ó Vegetación	Altura de caída	Cubierta leñosa (%)	Cubierta inferior	0	20	40	60	80	95
No apreciable	0	-	G	0,450	0,200	0,100	0,042	0,013	0,003
	0	-	W	0,45	0,24	0,15	0,09	0,043	0,011
Repoblado	0,2	-	-	0,02	-	-	-	-	-
Maleza	0,5	25	G	0,36	0,17	0,09	0,038	0,012	0,003
	0,5	25	W	0,36	0,20	0,13	0,082	0,041	0,011
	0,5	50	G	0,26	0,13	0,07	0,035	0,012	0,003
	0,5	50	W	0,26	0,16	0,11	0,075	0,039	0,011
	0,5	75	G	0,17	0,1	0,06	0,031	0,011	0,003
Arbustos	2	25	G	0,4	0,18	0,09	0,04	0,013	0,003
	2	25	W	0,4	0,22	0,14	0,085	0,042	0,011
	2	50	G	0,34	0,16	0,085	0,038	0,012	0,003

	2	50	W	0,34	0,19	0,13	0,081	0,041	0,011
	2	75	G	0,28	0,14	0,08	0,036	0,012	0,003
	2	75	W	0,28	0,17	0,12	0,007	0,04	0,011
Árboles	4	25	G	0,42	0,19	0,1	0,041	0,013	0,003
	4	25	W	0,42	0,23	0,14	0,087	0,042	0,011
	4	50	G	0,39	0,18	0,09	0,04	0,013	0,003
	4	50	W	0,39	0,21	0,14	0,085	0,042	0,011
	4	75	G	0,36	0,17	0,09	0,039	0,012	0,003
	4	75	W	0,36	0,2	0,13	0,083	0,041	0,11

*G*, representa una cubierta herbácea de hoja estrecha y despojos vegetales de menos de 5 cm *W*,  
representa una cubierta herbácea de hoja ancha

(U.S. Soil Conservation Service, 1975)

En uso productivo agrícola o ganadero, los grados de protección expresados también en tanto por uno pueden resumirse en:

Uso	Cubierta (%)	Mínimo	Máximo
Improductivo		0,5	1
Cereales		0,2	0,4
Hortalizas		0,2	0,34
Almendros, viñedos, etc...		0,4	0,52
Frutales		0,45	0,45
Pastizal	95		0,003
	80		0,01
	40		0,1
	20		0,2

(la protección en improductivo es tanto mayor cuanto más compactado)

Pero en el grado de protección de los cultivos y pastos, importa no sólo el producto agronómico, sino además como se está explotando el suelo. Cuantificaremos la protección del suelo por el cultivo o aprovechamiento humano, a través de un índice que contemple ambas circunstancias: la vegetación en sí (C) y las técnicas de cultivo (P):  $C \times P$ .

Estas técnicas de cultivo se refieren a diferentes modos de trabajar el suelo en función de la pendiente para controlar el escurrimiento del agua, y por tanto:

- reducen la velocidad del agua cuesta abajo, o capacidad de transporte de suelo erosionado
- aumentan la capacidad de infiltración para optimizar la disponibilidad de agua para las plantas, y por tanto reducen la cantidad de agua que escurre, y de nuevo la capacidad de arrastre de suelo

Las prácticas de conservación más habituales son:

1. *arado siguiendo las curvas de nivel*
2. *arado oblicuo a las curvas de nivel (en climas lluviosos o suelos propensos al encharcamiento)*
3. *cultivo en fajas y arado según curvas de nivel (alternando cultivo y barbecho o matorral)*
4. *construcción de terrazas de infiltración*

5. construcción de terrazas de desagüe (en climas lluviosos)

6. construcción de bancales

El efecto de estos modos de trabajar el suelo se cuantifica en tanto por 1 de reducción de la erosionabilidad (factor P):

% pendiente	cultivo a nivel	cultivo en fajas	terrazas de desagüe	terrazas de infiltración
2 – 7	0,5	0,25	0,1	0,05
8 – 12	0,6	0,3	0,12	0,05
13 – 18	0,8	0,4	0,16	0,05
19 – 24	0,9	0,45	0,18	0,06

(USDA, 1975)

Con todo ello disponemos de la erosionabilidad de cada factor que genera la pérdida de suelo. La combinación de las diferentes fragilidades puede establecerse a través de la metodología *USLE*, utilizada para Ordenación del Territorio con los criterios descritos, pues permite la asignación geográfica particular de valores de degradación, a partir del valor de la fragilidad de cada factor en cada lugar, ya dimensionados en cada caso para que sean comparables según la expresión:

$$D_h = R \times K \times LS \times CP \text{ (toneladas/hectárea y año)}$$

Este valor no considera las tolerancias a las pérdidas de suelo, que dependen de sus características edáficas y su uso. Así para suelos profundos, fértiles y de textura y permeabilidad medias, el límite de tolerancia está en el rango de las 12,5 Tm/Ha y año; pudiendo reducirse hasta 4-6 Tm/Ha y año a medida que los suelos son más someros y la textura es más arenosa; o incrementarse hasta 15 Tm/Ha y año en menores permeabilidades.

Profundidad de las raíces (cm)	Tolerancia (Tm/Ha y año) en suelos favorables	Tolerancia (Tm/Ha y año) en suelos desfavorables
0-25	2,2	2,2
25-50	4,5	2,3
50-100	6,7	4,5
100-150	9,0	6,7
> 150	11,2	11,2

(los suelos favorables pueden ser renovados con labores, fertilización,...)

Combinando la erosionabilidad con la tolerancia, y teniendo en cuenta que en suelos poco erosionados la resistividad es elevada (porque se sigue manteniendo capacidad de regeneración de la vegetación natural), obtenemos una escala de fragilidad:

	$D_h$	mm/año
Prácticamente nula	< 10	< 0,6
Escasa	10/15	0,6/0,9
Media	15/50	0,9/3,3
Elevada	50/100	3,3/6,1
Muy elevada	100/200	6,1/13,3
Muy alta	> 200	> 13,3

Pero la fragilidad se compone no sólo de lo fácil o difícil que sea el reducir la capacidad del medio en defenderse de la erosión, sino además de la velocidad en recuperarse. Ambas son dependientes de las mismas variables: clima, suelo y pendiente, y tienen el mismo efecto: desarrollo de la cobertura vegetal.

En el equilibrio natural, la erosionabilidad es similar a la regeneración, y en desertificación es el hombre el que rompe el equilibrio modificando el factor C:

$$\text{Reversibilidad, } r = R \times K \times LS \times C_{\text{natural}}$$

La combinación entre la erosionabilidad en equilibrio, y el grado de reducción de la protección de la vegetación, medirá la erosionabilidad real del medio, y por comparación entre ambas, el incremento de fragilidad que la acción humana ha provocado o puede provocar.

Pero hemos dicho que la fragilidad no es sólo la erosionabilidad, sino además el grado de desarrollo de la cubierta vegetal protectora del suelo. Para estimar la fragilidad en su conjunto bastará pues comparar la fragilidad en equilibrio con la real:

$$F = R \times K \times LS \times (C_{\text{natural}} - C_{\text{real}} \times P)$$

Con ello obtenemos un valor en toneladas por hectárea y año que pueden ser erosionadas por encima del equilibrio.

Un valor menos complejo de cálculo pudiera ser el aumento relativo de fragilidad de una actuación humana:

$$f = 100 \times F / r \quad (\%)$$

$$f = 100 \times (C_{\text{potencial}} - C_{\text{real}} \times P) / C_{\text{potencial}} \quad (\%)$$

Sin embargo, hay que recordar que la erosión precisa de un transporte para ser efectiva, por lo que estos valores deben tomarse como comparación relativa de erosionabilidades, no como cantidades absolutas que se erosionan y transportan (consideran la erosión, pero no la sedimentación).

La fragilidad edáfica tratada hasta aquí se debe a la erosión laminar, y en terrenos de roca compacta, continua hasta la desaparición del suelo; pero sobre roca sedimentaria poco consolidada, la erosión sigue hasta la formación de regueros, cárcavas y barrancos.

Para evaluar el grado de desertificación que estos procesos ocasionan, es preciso recurrir a la fotografía aérea y determinar el porcentaje de superficie ocupada por cárcavas y barrancos respecto a

la que ocupan los terrenos con pendientes superiores al 18%. Si se dispone de vuelos separados por varios años, es posible medir el avance medio anual.

Sino se puede comparar históricamente, como modelos de cálculo de la capacidad de ejecución de la fragilidad en estos casos, que se dan de forma discreta (no continua), pero de un modo generalizado en nuestra geografía, citaremos los propuestos por el *USDA* en 1966, aplicados climatologías similares de EE.UU.:

- Avance de la cabecera de un barranco (en metros/año):

$$5,25 \times 10^{-3} \times A^{0,46} \times p^{0,2}$$

Siendo

A, la superficie de drenaje en la cárcava o barranco (en m<sup>2</sup>)

p el total de aguaceros procedentes de precipitaciones en 24 horas superiores a 12,7 mm (en milímetros), deducible del Año Medio

- Profundidad (P) y altura superior (H) de un barranco (en metros):

rocas coherentes,  $P = 0,34 \times H$  (*margas, conglomerados, areniscas...*)

rocas incoherentes,  $P = 0,57 \times H$  (*depósitos*)

Así pues en suelos asentados sobre rocas de elevada disgregabilidad y pendientes fuertes, la capacidad de hacer efectiva la fragilidad debe estimarse no sólo con el incremento de escorrentía que la acción del hombre ha provocado, sino además con el nivel de desarrollo de las cárcavas y barrancos y su capacidad de evolución potencial.

## EROSIONABILIDAD EÓLICA

Hasta ahora hemos considerado la fragilidad de un ecosistema frente al agente erosionador agua. En zonas áridas y semiáridas con un grado de desertificación elevado, por causa climática o antrópica, el valor de la fragilidad se incrementa por la erosionabilidad debida a la acción del viento. La metodología de cálculo es similar a la expuesta *USLE*, y se debe al *Kansas Agricultural Experiment Station* sobre los primeros estudios de *Chepil* en la década de 1950.

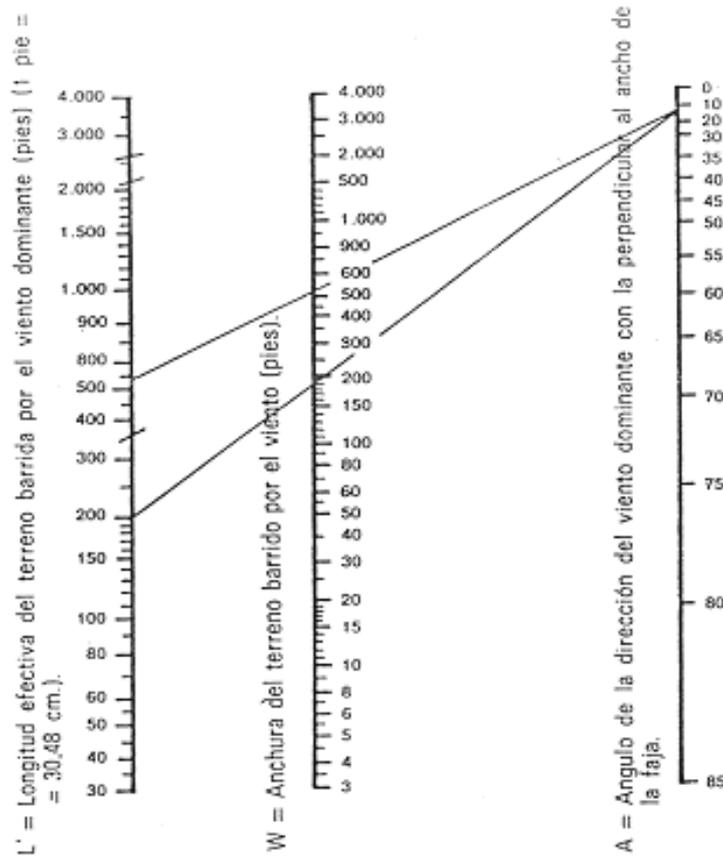
Análogamente a la hídrica, la erosionabilidad eólica es estimable a partir de las fragilidades de los factores que la componen, aunque el método ha sido escasamente contrastado en España, y existen limitaciones en el cálculo de sus factores:

- Climática (C), considera la velocidad del viento y la humedad relativa (ya que el viento aumenta la evaporación, y por tanto reduce la reversibilidad)

En USA está tabulado para la mayoría de los Estados, pero en España apenas se ha aplicado estos modelos. *García Salmerón* hizo una primera aproximación en 1967, si bien está referida tan solo al efecto de los cortavientos. Como aproximación puede establecerse una relación directa entre la

energía cinética de una partícula fina de tamaño medio (0,42 mm), a la velocidad del viento dominante, y C'.

- Orográfica, por la longitud del terreno en la dirección del viento dominante (L'),



(Way, 1978)

- Edáfica, en base a dos variables:
- Textura del suelo (T'), a partir del % de partículas de suelo seco mayores de 0,84 mm, la obtención del coeficiente es directo en la tabla siguiente, con los resultados expresados en toneladas / hectárea y año.

Desglosando el % en decenas y unidades

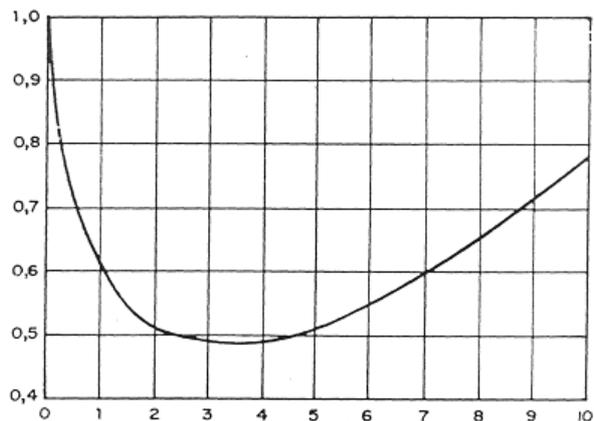
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		765,7	617,5	534,4	481,7	444,6	419,5	395,2	370,5	345,6
10	331,0	323,6	316,2	308,8	299,9	289,0	279,1	269,3	261,8	251,9
20	242,1	234,6	227,2	222,3	217,4	212,4	205,0	200,0	195,1	187,7
30	182,7	177,8	175,4	170,4	165,4	160,5	155,6	153,1	148,2	143,3
40	138,3	133,4	128,4	125,9	123,5	118,6	116,0	111,1	106,2	101,3
50	93,8	88,9	81,5	76,6	71,6	66,6	61,7	59,3	56,8	54,3
60	51,8	49,4	46,9	44,5	41,9	39,5	39,5	37,0	34,6	32,1
70	29,6	27,2	24,7	19,8	17,2	14,8	9,8	7,4	7,4	4,9
80	4,9									

Si el suelo está compactado ("con coraza"), hay que dividir el valor por 6

(Skidmore & Woodruff, 1968)

Como puede observarse, cuantos más elementos finos mayor es la fragilidad.

- Rugosidad del suelo (K'), mide la influencia de los surcos agrícolas (en suelos no agrícolas K'=1)



En abscisas está representada la distancia entre surcos, y en ordenadas su altura, ambos expresados en pies. (Way, 1978)

- Protección de la vegetación (V'), considera el porcentaje de cobertura del suelo por la vegetación, su altura y la pendiente del suelo. No existen tablas aplicables en España, (salvo para casos concretos de cortavientos), sin embargo, dado que la erosión eólica deberá ser analizada tan solo en aquellos terrenos extremadamente desertizados ó agrícolas entre cultivos, la presencia de vegetación será normalmente escasa y de muy baja altura, por lo que puede aproximarse a efectos comparativos este coeficiente al tanto por uno de cobertura del suelo, desde el caso más desfavorable, (sin vegetación) con  $V' = 1$ , al más favorable  $V' = 0$ .

Así de modo análogo a la estimación de la erosionabilidad hídrica, puede calcularse la eólica, y la fragilidad absoluta y relativa, para un viento concreto:

$$D_e = C' \times L' \times I' \times K' \times V'$$

La operativa es recurrente, con la diferencia de que el valor obtenido aquí sólo es válido en términos relativos, por lo que la fragilidad eólica sólo tendrá significado por su comparación con el estado no degradado o cultivado y crecido, ( $F_e$  no tiene unidades):

$$F_e = C' \times L' \times (I' \times K'_{\text{potencial}} - I' \times K'_{\text{real}}) \times (V'_{\text{potencial}} - V'_{\text{real}})$$

Sin embargo, el coeficiente que si dará información sobre la fragilidad conseguida será:

$$f_e = 100 \times F_e / r_e \quad (\%)$$

Todos los factores son territorializables, y estos valores son por tanto estimables en cada punto geográfico, pero su aplicación a valores medios interanuales inferibles puede resultar muy compleja.

Como referencia *García Salmerón* clasifica los estados erosivos en suelos agrícolas:

- *en erosión*

Arrastre	% de tierra arrastrada	% de subsuelo arrastrado
ligera	0 - 25	

moderada	25 - 75	
severa	75 - 100	
muy severa		25 - 75
extrema		75 - 100

---

- *en sedimentación*

Depósito	espesor (cm)
Somera	0 - 15
moderada y uniforme	15 - 30
moderada y desigual	15 - 30
Gruesa	30 - 91
En pequeñas dunas	91 - 183
En grandes dunas	> 183

---

Ambas circunstancias (arrastre y depósito), actúan en diferente sentido dando lugar a diferentes estados regresivos, según la clasificación de suelos agrícolas degradados por el viento, del *Soil Survey Staff, U.S.*:

1. *Tierra erosionada por el viento, arrastre ligero o moderado y depósito nulo a somero*
2. *Tierra severamente erosionada, arrastre de severo a extremo y depósito nulo a somero*
3. *Tierras barridas por el viento, arrastre extremo y depósito moderado*
4. *Depósito eólico, cubriendo el suelo con una capa de hasta 60 cm*
5. *Montículos eólicos, arrastre y depósitos de diversa intensidad pero irregulares*

## TRANSPORTE DEL SUELO

*Meyer y Wischmeier* en 1969 establecieron un modelo de erosión-sedimentación de dos dimensiones (en un plano perpendicular al de un mapa topográfico), en base a la cuantificación de la facilidad del suelo en ser:

- erosionado por la lluvia, depende del tamaño, velocidad y distancia entre las gotas de agua (intensidad de lluvia,  $I$ , expresado en mm/sg), y de la erosionabilidad del suelo

$$D_r = k_{dr} \times L \times I^2$$

$L$  es la superficie de la ladera, que al considerarse de ancho unitario equivale a su longitud

- transportado por la salpicadura, depende de la intensidad de la precipitación  $I$  (en mm/sg), la pendiente y características del suelo

$$T_r = k_{tr} \times S \times I$$

S es la pendiente

- erosionado por la escorrentía generada, depende de la tensión de arrastre del agua frente a las partículas disgregadas ( $t'$ ), tipo de movimiento del agua (laminar o turbulento), y el choque de las partículas arrastradas (abrasión)

$$D_f = k_{df} \times L \times t'$$

$$t' = 1/2 \times ((q \times S_{\text{inicial}})^{2/3} + (q \times S_{\text{final}})^{2/3})$$

q es el caudal instantáneo

- transportado por la escorrentía generada, depende de la energía cinética de la escorrentía (el agua que baja libre por la ladera)

$$T_f = k_{tf} \times (q \times S)^{5/3}$$

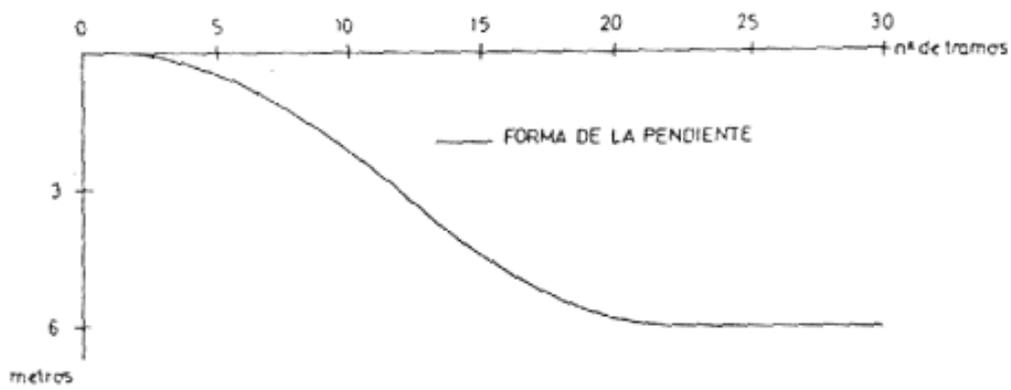
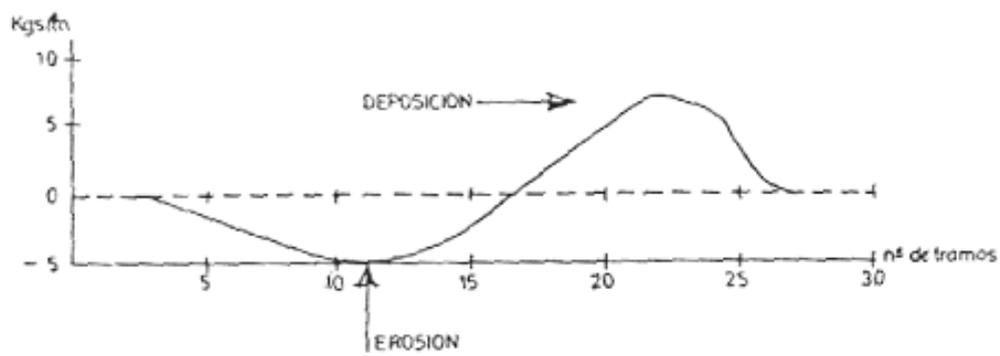
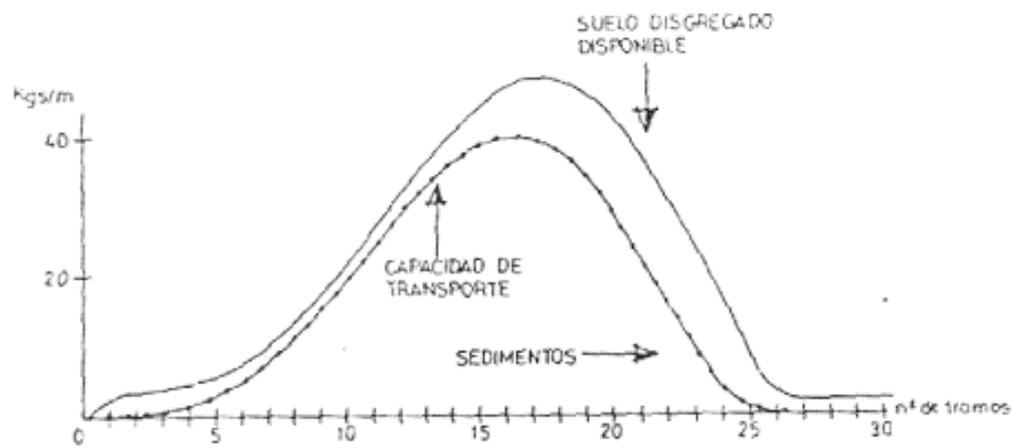
Los valores de  $k_{ii}$  dependen de la erosionabilidad edáfica según el tipo de suelo:

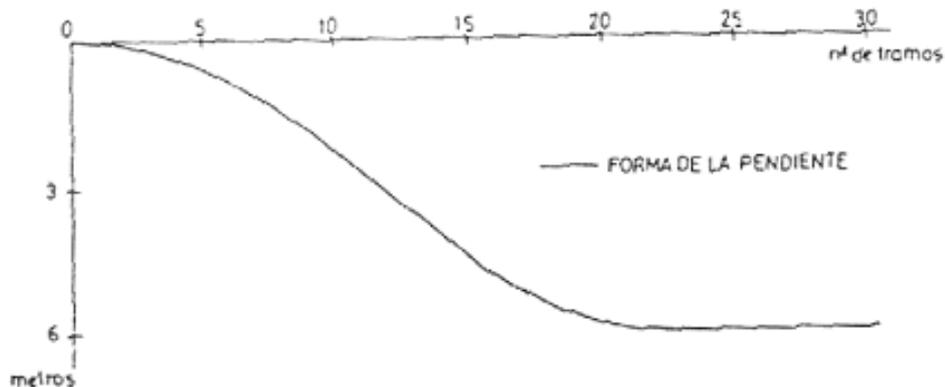
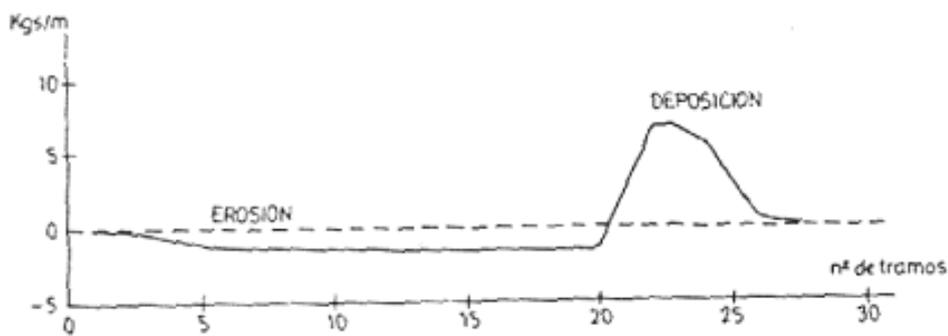
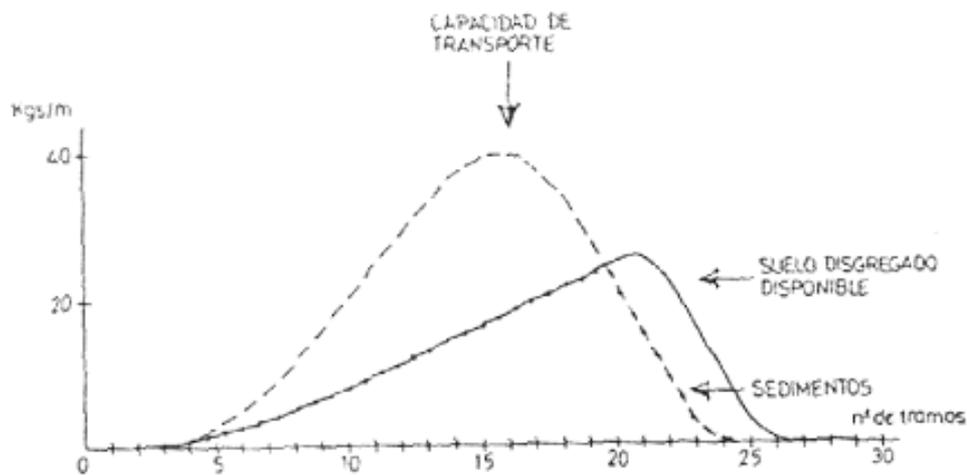
	$k_{dr} (x10^{-4})$	$k_{df} (x10^{-4})$	$k_{tr} (x10^{-4})$	$k_{tf} (x10^{-4})$
muy erosionables	3,80	31,35	5,88	4,92
medios	0,76	6,27	5,88	4,92
poco erosionables	0,15	1,25	5,88	4,92

(López Cadenas y Blanco Criado, 1977)

En una ladera de ancho unitario, puede determinarse con este método la erosión o deposición neta para cada aguacero en cada punto, dividiendo la ladera en tramos orográficamente homogéneos y operando recurrentemente.

Ejemplos de los resultados en un talud de 90 metros con una pendiente media del 8 % frente a una precipitación de 50,8 mm/h, según su perfil:





La aplicación del método a todos los puntos geográficos de la zona en estudio en combinación con el *Método de las Curvas Pluviográficas*, que describe la distribución de las intensidades durante un Año Medio, proporciona la erosión y sedimentación efectiva o neta mapizados. Sin embargo su utilización, además de ser de enorme complejidad (sólo asumible a través de ordenadores), está limitada al no contemplar la influencia de la cobertura vegetal en la agresividad de la lluvia, la escorrentía generada y su energía cinética.

Es factible solventar esta circunstancia, pues con la misma información geográfica utilizada para definir la fragilidad, tan sólo se precisa definir en que medida influye la vegetación en los valores anteriores:

- Disminución de la energía cinética de las gotas de lluvia, al interceptar la vegetación las gotas en caída libre. Medible a través de los gráficos de pérdida de energía con la altura de caída incluidas en el *Anexo Erosionabilidad Hídrica*.
- Freno de la velocidad de escurrimiento por la vegetación. Medible a través de tablas de intercepción de cada tipo de vegetación y microorografía, que indican en cuanto se debe disminuir la intensidad en los cálculos anteriores. (*Anexo de Agresividad Climática*).
- Reducción de la masa de agua que cae ladera abajo o escorrentía generada, dependiente de las mismas variables que hemos utilizado para el cálculo de la fragilidad.

Existen diversos métodos útiles para el cálculo de la escorrentía potencial generada en una cuenca vertiente:

- *Munteanu*, suponiendo un nivel del acuífero constante,

$$E = \text{precipitación} - \text{intercepción} - \text{infiltración} - \text{evapotranspiración}$$

debiéndose determinar los anteriores valores según las tablas de *Boldacov* (capítulo de *Erosión y Sedimentación*), de intercepción e infiltración, y fórmulas de estimación de la evapotranspiración, que si bien no las describiremos, sí enumeraremos los métodos de medida más utilizados:

- *Penman*, 1948
- *Thornwaite*, 1948-55
- *Blanney-Criddle*, 1950-55
- *Turc*, 1961
- *Van Bavel*, 1966
- etc...

Cabe distinguir dos conceptos diferenciados en las metodologías anteriores: evapotranspiración potencial (suponiendo el suelo saturado de agua) y real, de más difícil medida.

Su cuantificación puede resultar importante no sólo para su aplicación al método de cálculo de la escorrentía, sino además para considerar la productividad, vigor vegetativo, aprovechamiento hídrico,... pues algunas metodologías referentes a estos aspectos la tienen en consideración como variable para ello (Diagramas bioclimáticos de *Montero de Burgos*).

- Con el fin de aprovechar la misma información mapizada que se usa para el cálculo de la fragilidad, se recomienda el método *USDA* de cálculo de la escorrentía superficial de un aguacero de p mm:

$$E = (p - 0,2 \times S)^2 / (p + 0,8 S) \quad (\text{mm})$$

$$S = (25.400 / N) - 254$$

N indica la capacidad de escorrentía en función del suelo y su cubierta, está tabulado en condiciones normales de humedad (Condición B), según:

Cubierta del suelo	N para los suelos tipo:					
	laboreo	infiltración	I	II	III	IV
Barbecho	-	-	77	86	91	94
Cultivos alineados	R	pobre	72	81	88	91
	R	buena	67	78	85	89
	N	pobre	70	79	84	88
	N	buena	65	75	82	86
	T	pobre	66	74	80	82
	T	buena	62	71	78	81
Cultivos no alineados, surcos pequeños o mal definidos	R	pobre	65	76	84	88
	R	buena	63	75	83	87
	N	pobre	63	74	82	85
	N	buena	61	73	81	84
	T	pobre	61	72	79	82
	T	buena	59	70	78	81
Cultivos densos de leguminosas o prados en alternativa	R	pobre	66	77	85	89
	R	buena	58	72	81	85
	N	pobre	64	75	83	85
	N	buena	55	69	78	83
	T	pobre	63	73	80	83
	T	buena	51	67	76	80
Pastizales (prados naturales)	-	pobre	68	79	86	89
	-	regular	49	69	79	84
	-	buena	39	61	74	80
	N	pobre	47	67	81	88
	N	regular	25	59	75	83
	N	buena	6	35	70	79
Prados permanentes	-	-	30	58	71	78
Bosques aclarados con pastos	-	pobre	45	66	77	83
	-	regular	36	60	73	79
	-	buena	25	55	70	77
Bosques	-	muy pobre	56	75	86	91
	-	pobre	46	68	78	84
	-	regular	36	60	70	76
	-	buena	26	52	63	69
	-	muy buena	15	44	54	61
Caseríos	-	-	59	74	82	86
Caminos de tierra	-	-	72	82	87	89
Caminos con firme	-	-	74	84	90	92

Los supuestos de laboreo son:

- R, cultivo a favor de pendiente
- C, cultivo siguiendo las curvas de nivel
- T, cultivo en terrazas

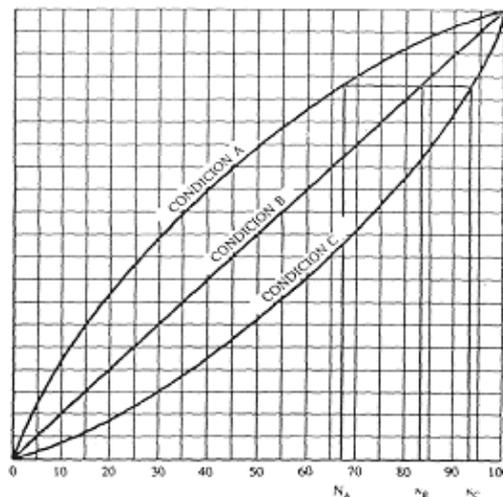
Los tipos de suelo considerados son:

- I, Mínimo escurrimiento, o sea, gran permeabilidad: suelos arenosos o “loess”
- II, Suelos arenosos menos profundos y permeables
- III, Suelos poco profundos o de texturas medias y francas, condiciones normales
- IV, Máximo escurrimiento y escasa permeabilidad: suelos arcillosos encharcables

Estos valores varían según sean las condiciones previas del suelo a una determinada precipitación, y el método establece 3 condiciones precedentes de humedad edáfica, de las que la tabla anterior corresponde a la B:

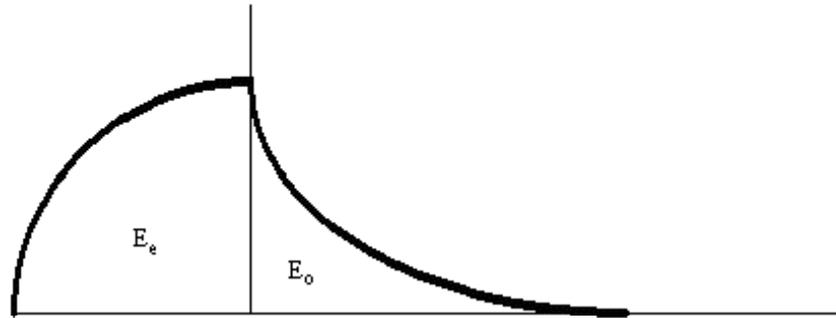
Lluvia caída en los 5 días anteriores		
	de Octubre a Marzo	de Abril a Septiembre
A	< 12,5 mm	< 35,5 mm
B	12,5 - 28 mm	35,5 – 53 mm
C	> 28 mm	> 53 mm

La conversión del número de curva N de una condición previa a otra se realiza según el siguiente gráfico:



(U.S. Soil Conservation Service)

Con ello es posible calcular en cada lugar del territorio la parte de la precipitación  $p$  que escurre, pero no indica la escurrentía del conjunto de los aguaceros del año. Al igual que para el cálculo de erosionabilidad media anual, puede utilizarse el *Método de las Curvas Pluviográficas* para estimar a través del Año Medio la escurrentía media anual ordinaria y extraordinaria, como suma ponderada a la probabilidad de cada escurrentía generada por cada día de lluvia de un año estadísticamente representativo.



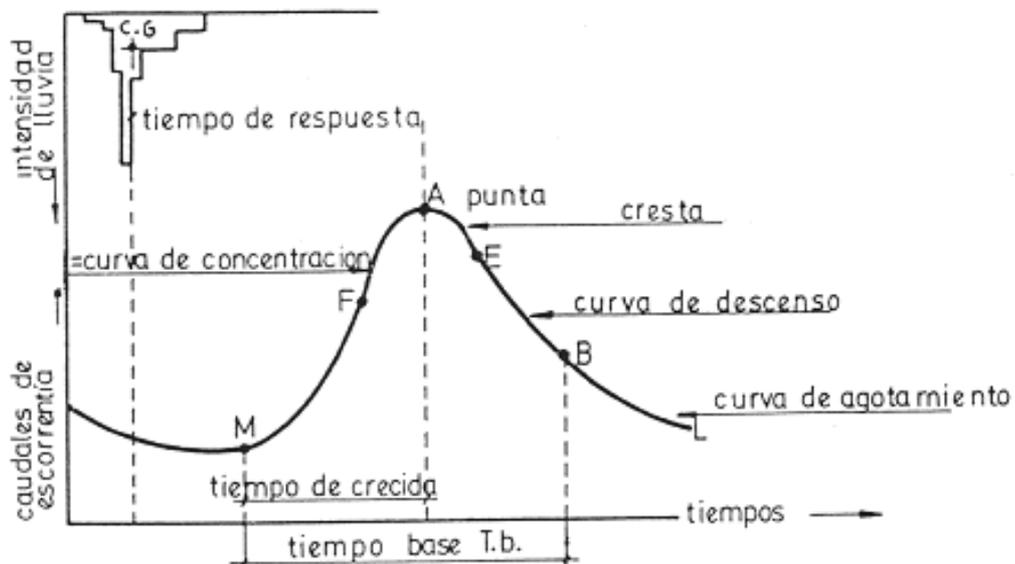
A medida que la escorrentía sea mayor, el resto de los componentes del balance hídrico se reducirán, se infiltrará menos agua y el vigor vegetativo y productividad del ecosistema se reducirá. La precipitación aparente será menor, o sea, si el agua es factor limitante, el ecosistema necesitará que llueva más para mantenerse estable.

En una unidad de longitud perpendicular a la pendiente, la capacidad de transporte en cada punto de la ladera,  $E_c = C$ , es función pues de la escorrentía (masa) y la velocidad, y por tanto del caudal instantáneo,  $q$ , según una relación que por lo anterior será del tipo:

$$C = a \times q^b$$

$q$  = escorrentía(mm) x velocidad = volumen de agua / tiempo

La capacidad de transporte varía según el caudal instantáneo, y éste a su vez con el tiempo. Por analogía a lo que en el correspondiente tema llamábamos Bandas Pluviográficas, la sucesión de caudales instantáneos producen como resultado de las anteriores una **Banda Hidrográfica** y por tanto un Hidrograma.



Existen diversos métodos para construir un hidrograma a partir de una banda pluviográfica. Podemos enumerar los más utilizados:

- Hidrograma Triangular, (*U.S. Bureau Reclamation, J.R. Temez, Giandotti, Ventura-Heras, Passini,...*)
- Modelo sintético: (*Snyder*)

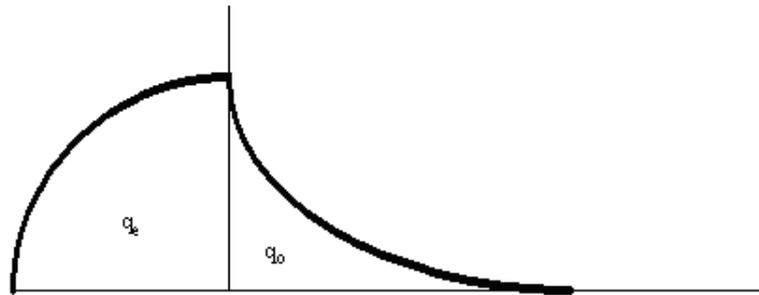
- Hidrograma adimensional: ( $S.C.S., \dots$ )
- Modelos lineales: ( $Nash, \dots$ )
- etc...

Por su complejidad, se han desarrollado diversos procesos informáticos de automatización de cálculo ( $HYMO, \dots$ ).

Sería enormemente extensa la descripción de los diferentes modelos de simulación de avenidas, y se sale del objetivo de este texto. Nos basta aquí describir las variables más importantes, y emplazar a bibliografía específica los procedimientos de cálculo.

- **Tiempo de concentración**,  $t_c$ , tiempo que tarda la gota más lejana en llegar a la salida
- **Tiempo punta**,  $t_p$ , tiempo que tarda en producirse el caudal punta
- **Tiempo base**,  $t_b$ , tiempo total de escorrentía
- **Caudal punta**,  $q_p$ , máximo caudal instantáneo ( $q_{max}$ )
- **Caudal total**,  $q_t$

Todos los modelos se refieren a un sólo evento, y precisan de información pluviográfica, por lo que nos encontramos en la misma problemática de cálculo que en la Agresividad del Clima. Del mismo modo que para solucionarlo en aquel caso, se combinaba en el *Método de las Curvas Pluviográficas* el Año Medio con la *Banda Media*, es posible combinar de forma análoga las Bandas Hidrográficas obteniendo **las Curvas Hidrográficas**, que describen los caudales generados como media en un año.



Por si no fuera suficientemente complicada y laboriosa esta metodología, hay que añadir una circunstancia adicional: la escorrentía en cada punto no es sólo la generada, sino además la que viene de aguas arriba de la ladera. Así:

1. los hidrogramas se suman a medida que se baja, y se solapan en diferentes estados de su evolución (pueden o no coincidir los caudales punta)
2. los hidrogramas tienden a suavizarse con su desplazamiento hacia abajo, o sea, se achatan disminuyendo el caudal punta.

Existen metodologías en los diferentes modelos de simulación de hidrogramas para el transporte y adición de los mismos, que por su extensión no se expondrán aquí, si bien para conocerlos existe suficiente bibliografía publicada (*Mintegui, López Unzu, \dots*).

Repasemos: la reducción de la protección del suelo por la vegetación disminuye la precipitación útil para el suelo o aparente para las plantas, incrementa la escorrentía y su velocidad, y por tanto aumenta los caudales y energía cinética de transporte o capacidad; pero además disminuye los tiempos de concentración aumentando la probabilidad de confluencia de caudales punta en el tiempo, y por tanto el drástico incremento de la capacidad de transporte.

Por ambos motivos el caudal punta aumenta traumáticamente y con él no sólo la efectividad de la fragilidad, sino además el riesgo de inundaciones (se producen al no estar preparado el lecho del cauce en drenar el caudal punta).

En base a las *Curvas Hidrográficas* es posible determinar la capacidad de transporte media anual pues conocemos la relación entre C y q.

Así como para el estudio de la erosionabilidad habíamos visto métodos que asignaban un valor medio a una extensión de terreno (*Fourier, Djorovic*), y otros que asignaban geográficamente erosionabilidades (*USLE*); y de entre ellos se recomendaban los que permitieran una información mapizada (los segundos); en el cálculo de la capacidad de transporte del suelo, o sea, de la energía cinética de la escorrentía, la complejidad de la metodología recomienda una solución intermedia (lo complejo es caro, lo caro es difícil de pagar y por tanto se usa pocas veces, así que no es práctico para el análisis de la desertificación a nivel genérico, que es lo que se pretende). El método recomendado incluye el cálculo de la escorrentía generada en cada punto de modo geográfico, pero la suma y movimiento de los hidrogramas sólo como un resumen en el punto de cierre de la cuenca que se estudia:

- Cálculo de la escorrentía generada en cada punto y de su variación respecto a la situación de equilibrio, por una determinada acción o aprovechamiento:

$$f(E) = 100 \times (E_{\text{natural}} - E_{\text{real}}) / E_{\text{natural}} \quad (\%)$$

Estos valores indican la modificación de la capacidad de hacer efectiva una determinada erosionabilidad, o desequilibrio provocado, y la reducción de la pluviometría efectiva para el desarrollo de la vegetación (si escurre más, la infiltración debe ser menor para cuadrar el balance).

En base al mapa pluviométrico y al de escorrentía generada, es inmediata la construcción del que exprese la modificación de la fragilidad por un menor aporte de agua al suelo (déficit hídrico).

$$F(D) = D_{\text{natural}} - D_{\text{real}} \quad (\text{mm})$$

$$f(D) = (D_{\text{natural}} - D_{\text{real}}) / D_{\text{natural}} \quad (\%)$$

En zonas llanas la pluviometría eficaz, será la pluviometría total, y la fragilidad no se incrementará por esta circunstancia, pero en pendiente, la pluviometría útil para las plantas disminuirá en la misma medida que aumenta la escorrentía. De ahí es posible mapizar la pluviometría útil y su modificación por la acción del hombre.

- Cálculo de la capacidad de transporte sumatorio de cada cauce, (erosión neta que sale de la cuenca), como resumen del conjunto.

Como hemos visto la capacidad de transporte es función exponencial del caudal. En el conjunto de las capacidades de los caudales instantáneos provocados por un aguacero, *Williams* en 1975 estableció un valor medio para el total de la precipitación en base a ello, (modelo *MUSLE*), en el que definía los valores de a y b para el conjunto del aguacero:

$$C = 11,8 \times (q_t \times q_p)^{0,56} \times K \times LS \times CP \quad (\text{toneladas por ha. y año})$$

(K x LS x CP es la media ponderada de los valores de estos factores en la cuenca)

Hemos dicho que existen diversos métodos de simulación de hidrogramas,  $q_t$  y  $q_p$  se calculan en base a ello. Seleccionaremos aquí por su simplicidad el del Hidrograma Triangular:

$$q_p = 0,208 \times q_t \times A / t_p \quad (\text{m}^3/\text{sg})$$

$$t_p = D/2 + 0,6 \times t_c \quad (\text{horas})$$

$$t_c = (0,87 \times L \text{ elevado a } 3 / H)^{0,385} \quad (\text{horas})$$

$$t_b = 2,67 \times t_p \quad (\text{horas})$$

$$q_t = C_e \times E \times A \quad (\text{m}^3)$$

siendo

A, la superficie ( $\text{Km}^2$ )

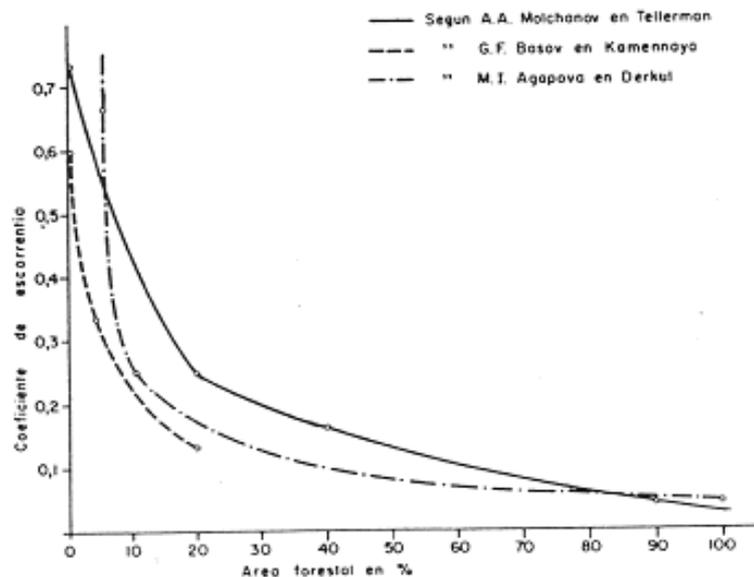
D, la duración del aguacero desde que empieza a escurrir

L, el máximo recorrido de una gota de agua (Km)

H, el desnivel entre la cota media del límite de la cuenca y el punto de salida de la misma (m)

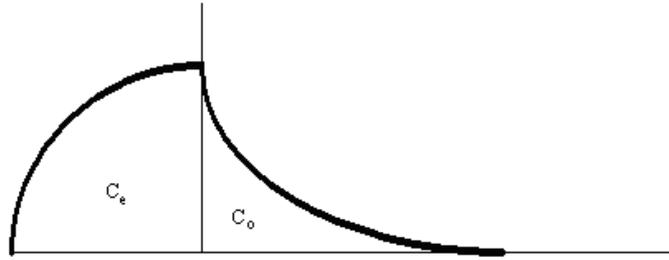
E, la escorrentía media anual ponderada en el conjunto de la cuenca (mm)

$C_e$ , el coeficiente de escorrentía, (tanto por 1 de la precipitación excedente respecto a la caída), función de la cobertura vegetal y de difícil determinación, si bien existen diferentes aproximaciones:



Este modelo es solamente válido para un cauce inicial de drenaje, si se añaden las capacidades de transporte de varios, la suma de los caudales no es la suma de las capacidades de transporte (suma y desplazamiento de hidrogramas). Si se pretende definir cuencas mayores a estos, hay que recurrir a una ampliación del modelo, en la que no entraremos aquí.

Combinando este modelo con las Curvas Pluviográficas (Año Medio), es posible estimar un valor medio anual de  $C_e$ , y por comparación entre este valor en un estado euclimático y el real, cuantificar que incremento de erosión neta ha provocado la actuación humana en la cuenca hidrográfica considerada.



La velocidad de creación de suelo en una cuenca en su clímax, será por consiguiente al menos igual a la exportación de suelo al exterior en el equilibrio natural,  $C_{\text{natural}}$ , pues en su estado óptimo (sin la intervención humana), la erosión neta es menor o igual que la regeneración del suelo. Así pues con esta metodología de medida puede estimarse en el conjunto del territorio considerado también su capacidad de creación de suelo.

Al igual que en otros capítulos cabe aquí una especial referencia al efecto de los incendios en la capacidad de transporte de materiales, o efectividad de la erosión, pues al primero eliminarse, y más tarde regenerarse durante años la cobertura vegetal hasta alcanzar el grado de cobertura paraclimácico (caso de existir un aprovechamiento permanente), o climácico, la escorrentía se incrementa drásticamente durante meses, y tarda décadas en recuperarse. En este caso, como en cualquier otro donde las circunstancias no se mantengan en el tiempo, habrá que considerar la evolución de la escorrentía y capacidad de transporte con la transformación de la vegetación.

En la cuantificación del grado de desertización de un ecosistema, podemos con todo ello definir la influencia de la acción humana:

- *en cada punto geográfico*
  - *erosión ( $Tm/m^2$ )*
  - *escorrentía ( $mm/m^2$ )*
- *en el conjunto de la cuenca*
  - *capacidad de transporte de suelo ( $Tm/año$ )*
- *velocidad de creación del suelo ( $Tm/año$ )*
- *en lugares concretos seleccionados por su situación*
  - *caudal ( $m^3/sg$ ) y su distribución media anual*
  - *caudal punta, riesgo de desbordamiento ( $m^3/sg$ ) y su probabilidad*

Disponemos así de una metodología tal vez algo tediosa pero simple, de estimación del riesgo de desertificación e incluso de la capacidad de ejecutarla, sin embargo ello no es suficiente para medir el grado de desertización que se ha provocado. Es preciso poder calcular la pérdida de productividad que ello ocasiona para justificar o no la explotación de los recursos naturales en un determinado modo y grado. El objetivo es el disponer de información para conocer si es rentable a largo plazo un aprovechamiento que tal vez lo sea a corto, y si no es así adecuar el aprovechamiento inmediato para que se establezca la producción o el uso.

Para ampliar información respecto a los procedimientos de estimación de la evapotranspiración, hidrogramas, y conducción y suma de avenidas, dado que su descripción se sale del objetivo de este texto, si resultara necesario para un estudio en mayor profundidad de alguna de estas variables, se recomienda la consulta de:

*La Ordenación Agrohidrológica en la Planificación, Gobierno Vasco 1990*

*Guía para el estudio del Medio Físico, MOPU 1984*

## PRODUCTIVIDAD NATURAL

El ejercicio de la fragilidad, puede conducir a una reducción de biomasa y productividad, que es medible a través de encuesta (toma de muestras), o por modelos de determinación indirecta por las variables edáficas. Aquí se verán algunos.

Modelos de estimación indirecta de la productividad natural:

- Índice de Productividad Forestal de *Patterson*, que define la capacidad o posibilidad potencial para uso forestal, medido en m<sup>3</sup> de madera / ha y año, en los supuestos de:

- *suelo maduro*
- *ordenación selvícola para la producción*
- *buen estado fitosanitario del bosque*
- *adecuación de la especie principal al medio*

$$P = 5,3 \times K \times (\log I - \log 25)$$

Siendo,

*K*, el coeficiente edáfico según la tabla adjunta

Clima árido en Verano	Clima no árido en Verano	K
Aluviones calizos Aluviones silíceos	Aluviones calizos	1,66
Esquistos silíceos Gneis y micacitas Pizarras	Aluviones silíceos Calizas Dolomías Esquistos calizos Gabros y peridotitas Pizarras	1,44
Arenas arcillosas Areniscas calizas Esquistos calizos Gabros y peridotitas Granitos gneísicos Margas y areniscas Molasas margosas	Areniscas calizas Areniscas pizarrosas Esquistos silíceos Gneis y micacitas Margas y areniscas Margas calizas Molasas margosas	1,22
Areniscas arcillosas Areniscas pizarrosas Conglomerados calizos Dolomías Granitos Margas Margas calizas	Arenas algo arcillosas Areniscas arcillosas Granitos Granitos gneísicos Margas	1,00
Calizas Arenales calizos Arenales silíceos	Arcillas Arenales calizos Conglomerados calizos	0,77
Arcillas Areniscas cuarzosas Conglomerados silíceos Graveras calizas Margas yesíferas	Arenales silíceos Areniscas cuarzosas Conglomerados silíceos Graveras calizas Margas yesíferas	0,55
Graveras silíceas	Graveras silíceas	0,33
Sitios semiencharcados	Sitios semiencharcados	0,00

$I$ , el coeficiente climático de *Patterson* (1956)

$$I = p \times G \times (t_c / (T_c - T_f)) \times (2500 / h + 1000)$$

$p$ , precipitación media anual o módulo pluviométrico

$G$ , número de meses de periodo vegetativo (meses con temperatura media  $T > 6^\circ\text{C}$  y precipitación  $> 2 \times T$ )

$t_c$ , temperatura media del mes más cálido

$T_c$ , media de las máximas del mes más cálido

$T_f$ , media de las mínimas del mes más frío

$h$ , número de horas de luz al año

*Gandullo y Serrada*, editaron la *Productividad Forestal Potencial para España 1:1.000.000*, INIA 1977, donde se cartografiaba con dichos criterios el territorio ibérico.

- INIA (1977) en base al sistema propuesto por la FAO, (*Riquier, Bramaio y Cornet*, 1970), en el que se define el índice de posibilidad relativo  $P$  para cualquier uso como:

$$100 \times P = H \times D \times P \times T \times (N \text{ o } S) \times O \times A \times M$$

Estando descrita y cuantificada cada una de las variables que pueden limitar la productividad en las tablas adjuntas:

### *Aridez*

H. Contenido del suelo en humedad (zona radicular)		cultivo	pasto	bosque
H <sub>1</sub> .	Debajo del punto de marchitez 12 meses	5	5	5
H <sub>2</sub> .	11 meses	10	20	10
	10 meses	20	20	10
	9 meses	40	30	10
H <sub>3</sub> .	8 meses	50	30	10
	7 meses	60	40	20
	6 meses	70	60	40
H <sub>4</sub> .	5 meses y debajo de la capacidad de campo > 6 meses	80	70	70
	4 meses y debajo de la capacidad de campo > 6 meses	90	80	90
	3 meses y debajo de la capacidad de campo > 6 meses	100	90	100
H <sub>5</sub> .	Encima del punto de marchitez y debajo de la capacidad de campo casi todo el año	100	100	100

Si no se dispone de datos de humedad del suelo, es posible estimarlo con los meses secos a través de los climodiagramas

Para zonas frías, los meses con heladas y/o con temperaturas medias menores de  $10^\circ\text{C}$ , se consideran secos



T<sub>7</sub>. Equilibrada 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 He 15-25 %

G, es el volumen de elementos más gruesos que las gravas (pedregosidad)

He, es la humedad equivalente

\*, se caracteriza por un porcentaje de arcilla y limo > 40 %, pH básico

Según sea la disponibilidad de datos, puede complementarse el uso de esta tabla con una equivalencia directa entre la textura y la pérdida de productividad relativa mencionada, según la clasificación *USDA* de granulometría de suelos vista en el *Anexo Muestreo y Análisis de Suelos*.

Textura	Clasificación USDA
T <sub>2</sub> Gruesa	Muy arenosa
T <sub>4</sub> Ligera	Arenosa Franca y Franco arenosa (tirando a arenosa)
T <sub>5</sub> Pesada	Muy arcillosa y arcillosa limosa
T <sub>6</sub> Algo Pesada	Franco arenosa, Muy limosa, Arcillosa arenosa, Franco arcillosa y Franca arcillosa limosa
T <sub>7</sub> Equilibrada	Franco arcillosa limosa, Franca y Franco limosa

### Fertilidad

N. Contenido de nutrientes (horizonte superior)	cultivo	pasto	bosque	pH
N <sub>1</sub> . V < 15%	40	60	80	3,5 - 4,5
N <sub>2</sub> . 15 < V < 35 %	50	70	80	4,5 - 5,0
N <sub>3</sub> . 35 < V < 50 %	60	80	90	5,0 - 6,0
N <sub>4</sub> . 50 < V < 75 %	80	90	100	6,0 - 7,0
N <sub>5</sub> . V > 75 %	100	100	100	7,0 - 8,5
N <sub>6</sub> . Excesivamente calcáreo, CO <sub>3</sub> Ca > 20 - 30 %	80	90	100	

V, es el tanto de saturación descrito en el Anexo Muestreo y Análisis de Suelos, y si no se conoce puede ser reemplazado por el valor del pH, que en suelos arenosos incluso es más recomendable

### Salinidad

S. Contenido en sales solubles		cultivo		pasto		bosque		Conductividad				
		T <sub>1</sub> T <sub>4</sub>	T <sub>2</sub> T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub> T <sub>7</sub>	T <sub>6</sub> T <sub>7</sub>	T <sub>1</sub> T <sub>4</sub>	T <sub>2</sub> T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub> T <sub>7</sub>	T <sub>6</sub> T <sub>7</sub>	1/1	1/5	1/10
reacción ácida	S <sub>1</sub> . < 0,2 %	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0
	S <sub>2</sub> . 0,2 - 0,4 %	70	90	70	90	70	90	70	90	2	1000	500
	S <sub>3</sub> . 0,4 - 0,6 %	50	80	50	80	50	80	50	80	6	1750	875
	S <sub>4</sub> . 0,6 - 0,8 %	25	40	25	40	25	40	25	40	8	2500	1250
	S <sub>5</sub> . 0,8 - 1 %	15	25	15	25	15	25	15	25	12	3000	1625
	S <sub>6</sub> . > 1 %	5	15	5	15	5	15	5	15	16	3500	2000
reacción alcalina	S <sub>7</sub> . 0,1 - 0,3 %	60	90	60	90	60	90	60	90			
	S <sub>8</sub> . 0,3 - 0,6 %	15	60	15	60	15	60	15	60			
	S <sub>9</sub> . > 0,6 %	5	15	5	15	5	15	5	15			

En caso de no conocerse el porcentaje de sales solubles, puede utilizarse la conductividad en pasta saturada 1/1 (miliohmios) o en extracto salino 1/5 ó 1/10 (microhmios)

En reacción alcalina se debe incluir carbonato sódico

### *Materia orgánica*

O. Materia orgánica	cultivo		Pasto		bosque		espesor del humus
	H <sub>1</sub> H <sub>2</sub> H <sub>3</sub> D <sub>3</sub> D <sub>4</sub>	H <sub>4</sub> H <sub>5</sub> D <sub>1</sub> D <sub>2</sub>	H <sub>1</sub> H <sub>2</sub> H <sub>3</sub> D <sub>3</sub> D <sub>4</sub>	H <sub>4</sub> H <sub>5</sub> D <sub>1</sub> D <sub>2</sub>	H <sub>1</sub> H <sub>2</sub> H <sub>3</sub> D <sub>3</sub> D <sub>4</sub>	H <sub>4</sub> H <sub>5</sub> D <sub>1</sub> D <sub>2</sub>	
O <sub>1</sub> . < 1 %	85	70	85	70	85	70	< 10 cm
O <sub>2</sub> . 1 - 2 %	90	80	90	80	90	80	10-20 cm
O <sub>3</sub> . 2 - 5 %	100	90	100	90	100	90	20-30 cm
O <sub>4</sub> . > 5 %	100	100	100	100	100	100	> 30 cm
O <sub>5</sub> . C/N > 25 %	70	70	70	70	70	70	

C/N es la relación carbono-nitrógeno

Si se trata de materia orgánica fresca, o sea, sin apenas descomposición, o humus tipo mor o molder, hay que considerar los valores de la categoría inferior

Si no se dispone del porcentaje de materia orgánica en el horizonte superior, puede aproximarse el valor a través de la última columna

### *Capa profunda impermeable*

A. Capacidad de intercambio en la capa de iluviación	tipo de arcilla probable	cultivo	pasto	bosque
A <sub>0</sub> . < 5 mEq / 100 gr		85	85	85
A <sub>1</sub> . 5 - 20 mEq / 100 gr	caolinita, sesquióxidos	90	90	90
A <sub>2</sub> . 20 - 40 mEq / 100gr	mezcla, illita	95	95	95
A <sub>3</sub> . > 40 mEq / 100 gr	montmorillonita, amorfas	100	100	100

### *Nutrientes en reserva*

M. Minerales alterables en el horizonte iluvial		cultivo		pasto		bosque	
Reservas	Minerales derivados de...	H <sub>1</sub> H <sub>2</sub> H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub> H <sub>5</sub>	H <sub>1</sub> H <sub>2</sub> H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub> H <sub>5</sub>	H <sub>1</sub> H <sub>2</sub> H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub> H <sub>5</sub>
M <sub>1</sub> . Nulas		85	85	85	85	85	85
M <sub>2</sub> . Escasas	arenas y	85	90	85	90	85	90
	rocas ácidas	90	95	90	95	90	95
	rocas básicas o calcáreas	95	100	95	100	95	100
M <sub>3</sub> . Amplias	materiales arenosos o ferruginosos	90	95	90	95	90	95
	rocas ácidas	95	100	95	100	95	100
	rocas básicas o calcáreas	100	100	100	100	100	100

(en todos los casos, los frutales se asimilan a los valores para bosque)

El índice valora el porcentaje de producción de biomasa frente al que se obtendría en unas hipotéticas condiciones óptimas del suelo (productividad potencial máxima del tipo de explotación), suponiendo en ambos casos condiciones favorables de:

- *buena agricultura*
- *variedades de plantas seleccionadas*

- *ausencia de enfermedades*

El método permite considerar estas últimas indirectamente a través de las modificaciones en la productividad del suelo que provocan, y por tanto en los valores de las variables consideradas. O sea, aplicando el método a los supuestos anteriormente descritos obtendremos la productividad potencial (capacidad), e introduciendo prácticas de mejora, la potencialidad máxima.

A	de H <sub>1</sub> H <sub>2</sub> a H <sub>5</sub>	Riego (esencial) y drenaje (normal)
B <sub>1</sub>	de H <sub>3</sub> H <sub>4</sub> a H <sub>5</sub>	Riego suplementario por aspersión
B <sub>2</sub>	de H <sub>3</sub> H <sub>4</sub> a H <sub>5</sub>	Riego suplementario por inundación o surcos
C	de D <sub>1</sub> D <sub>2</sub> a D <sub>3</sub>	Caballones y drenajes, protección frente a inundaciones
D	de P <sub>1</sub> P <sub>2</sub> P <sub>3</sub> a P <sub>2</sub> P <sub>3</sub> P <sub>4</sub>	Profundización del suelo: caballones, desfonde, escarificado,...
E <sub>1</sub>	de T <sub>1</sub> a T <sub>1</sub>	Mejora de la textura y estructura por remoción de gruesos
E <sub>2</sub>	de masiva a porosa	Mejora de la textura y estructura con maquinaria pesada
E <sub>3</sub>	de T <sub>2</sub> a T <sub>1</sub>	Mejora de la textura y estructura con suelos orgánicos
F	+ H, con A <sub>0</sub> de N <sub>1</sub> N <sub>2</sub> a N <sub>3</sub> con A <sub>1</sub> o A <sub>2</sub> , de N <sub>1</sub> , N <sub>2</sub> , N <sub>3</sub> a N <sub>4</sub> con A <sub>3</sub> , de N <sub>1</sub> N <sub>2</sub> N <sub>3</sub> N <sub>4</sub> a N <sub>5</sub>	Fertilización, enmiendas o encalados
G <sub>1</sub>	de S <sub>3</sub> S <sub>4</sub> a S <sub>1</sub> S <sub>2</sub>	Desalinización por riego y drenaje
G <sub>2</sub>	de S <sub>9</sub> a S <sub>7</sub>	Desalinización por riego, drenaje y yeso (sales de sodio)
H	de O <sub>1</sub> O <sub>2</sub> O <sub>5</sub> a O <sub>4</sub>	Estercolado, abono en verde, mulching, rotación de cultivos,...
J	x 0,9	Control de la erosión eólica: cortavientos
K	x 0,9	Control de la erosión hídrica severa: terrazas, bancales,...
L	x 0,9	Control de la erosión hídrica moderada: cultivo a nivel, zanjas, fajas, setos,...
M		Desbroces y limpieas
N		Enmiendas calizas

Los valores de productividad obtenidos se consideran en los siguientes rangos:

	clase	P	vocación
I	excelente	65-100	agrícola
II	buena	35-64	pasto
III	media	20-34	forestal
IV	pobre	8-19	protectora
V	nula	0-7	paisajística

## BIODIVERSIDAD

Ya se ha indicado que el más barato, mejor y más simple estimador de la biodiversidad es la biomasa, pero su aplicación está limitada a entornos no productivos, e incluso en series ecológicas diferentes sólo sirve como referente parcial. Para la cuantificación directa de la biodiversidad, en los casos en los que la intervención humana distorsiona la cuantificación de la biomasa como indicador indirecto, se necesita comparar series distintas, o se precisa de un mayor detalle, no existen modelos de simulación causa-efecto, y sólo puede realizarse mediciones a través de muestreo estadístico.

En el sentido simplista del término: diversidad y abundancia (sin entrar en aspectos como valor, rareza, madurez, complejidad,...), algunos autores utilizan un ratio llamado bit, que corresponde a la unidad de biodiversidad representada por un lugar con dos especies y dos individuos: el logaritmo en base 2 de de 2. Así dos bits vale la diversidad de un sitio con cuatro especies equiprobables, tres bits vale con ocho especies,... Los pastizales de las dehesas españolas contienen hasta 600 hierbas diferentes, distribuidas en una proporción tal que alcanza los 7 bits, muy por encima de los pastizales centroeuropeos, de mayor biomasa y productividad. O sea, el bit no mide la biodiversidad (valor de la diversidad), pero al menos sí la diversidad en sí, útil sí y sólo sí se entiende como una simple subvariable a considerar (de hecho resultaría absurdo siquiera plantear que un pastizal de 7 bits tuviera mayor valor que un encinar de 3 bits).

Sin embargo biodiversidad es un concepto amplio, y resulta pobre que hoy en día esté de moda entre los científicos la tonta consideración de la diversidad, pues como ya se ha insistido implica sobretodo aspectos de valor. De entre aquellos que entienden el concepto amplio de biodiversidad, hay tantos criterios de ponderación de las subvariables para la cuantificación como investigadores. Como ejemplo podemos mencionar el criterio utilizado por *Escribano y Aramburu* (1978) en la valoración ecológica de la comarca de Albarracín (Teruel),

$$(((a \times d) + N + (3 \times D)) / A) + (10 \times R)$$

Representando como minúsculas las variables referentes a especies y en mayúsculas las que se refieren al conjunto del ecosistema (abundancia: a A, diversidad d D, rareza R), y siendo N el número de especies protegidas.

Otras metodologías de análisis estadístico utilizadas en España, apuntan a definir una estratificación de ecosistemas homogéneos, y asignar en base a tablas predefinidas y conteos de campo, valores lo más objetivos posibles para determinar:

- Valor de la especie i,

$$V_i = (N/N_i) \times (N_v/N_i) \times (N_p/N_i) \times S_i \times A_i \times D_i$$

Siendo

N, número total de ecosistemas homogéneos

N<sub>v</sub>, número de ecosistemas en los que la especie i podría habitar

$N_p$ , número de ecosistemas que habitó la especie  $i$  en el pasado

$S_i$ , singularidad o valor intrínseco de la especie (diversidad)

$A_i$ , abundancia de la especie en el ecosistema

$D_i$ , fragilidad de la especie  $i$  frente a acciones humanas en el medio

$N_i$ , combinación de frecuencia y fragilidad:

$$N_i = (N_1 \times F_1 / F_{\min}) + (N_2 \times F_2 / F_{\min}) + \dots$$

$N_1, N_2, \dots$  el número de ecosistemas con fragilidad 1, 2, ... de la especie  $i$

$F_1, F_2, \dots$  la proporción de ecosistemas de fragilidad 1, 2, ...

$F_{\min}$ , proporción de los ecosistemas con mínima fragilidad

- Valor del ecosistema  $j$ ,

$$V_j = S_j \times A_j \times (V_1 \times F_1 / F_{\min} + V_2 \times F_2 / F_{\min} + \dots + V_k \times F_k / F_{\min})$$

Siendo

$k$ , el número de especies del ecosistema  $j$

$S_j$ , singularidad o valor intrínseco del ecosistema  $j$

$A_j$ , abundancia local del ecosistema

Al no existir un método de aplicación general, otros autores han realizado varios intentos de cuantificar la biodiversidad a partir de las variables definidoras del biotopo, así:

- *McArthur* (1961) estableció que el número de especies de pájaros que se reproducen en una región, uniforme en cuanto a vegetación, es proporcional al número de estratos presentes (FHD), y es independiente de la variedad vegetal.

$$FHD = (p_1 \times \log p_1) + (p_2 \times \log p_2) + (p_3 \times \log p_3)$$

Siendo

$p_1$ , la proporción de vegetación situada en el estrato herbáceo (0 / 0,6 m)

$p_2$ , la proporción de matorral (0,6 / 7,5 m)

$p_3$ , la proporción de arbolado

- *Ferry y Frochot* (1970) analizaron que en Francia, el número de individuos es proporcional al número de especies

- *Dempster* (1977), matizaba que en los ecotonos (zonas de transición entre dos tipos de hábitats), las relaciones anteriores entre las variables del biotopo o el número de individuos, y la biodiversidad se incrementan.

A pesar de ser un aspecto cualitativo de la productividad natural, es posible y debe cuantificarse, aunque sea con criterios dependientes de cada autor, pues lo de siempre: si no es medible es opinable, y por tanto poco efectivo. Pero siempre habrá de considerarse la comparación de índices entre criterios homogéneos.

## COSTE DE LA DESERTIZACIÓN

Si para cada acción conocemos la pérdida económica que evitamos cada año, y lo capitalizamos al presente, será demostrable que independientemente de consideraciones medioambientales, la lucha contra la desertificación producirá un ahorro económico.

En la Metodología de valoración de *Aguiló Bonnín (1976)*, se estandarizan los costes o beneficios en porcentajes de valor del terreno (anuales o decenales), del siguiente modo:

- Beneficios suelo-agua
  - cuota de conservación del suelo (anual)

Tipo de terreno o aprovechamiento	Tasa
Vocación forestal, de pastos o cultivo arbóreo, sin agricultura y pendiente > 10%	3 %
Cultivos en pendiente > 10 %	2 %
Cultivos en pendiente < 10 % sin prácticas de conservación	1 %
Cultivos en llano, usos forestales o ganaderos estables en cualquier pendiente	0,5 %

(*Aguiló Bonnín, 1976*)

- cuota decenal de seguro de daños en el suelo (riesgo por daños directos de las precipitaciones extraordinarias no catastróficas, que se consideran aquellas de probabilidad 0,1 anual, o periodo de recurrencia 10 años)

Pendiente	Precipitaciones máximas en 24 horas (mm)					
	%	20	40	60	80	100
< 10	0 %	2,5 %	5 %	8 %	11 %	16 %
10-25	1 %	4,0 %	7 %	10 %	14 %	20 %
> 25	2 %	5,5 %	9 %	12 %	17 %	24 %

(*Aguiló Bonnín, 1976*)

- canon decenal de disponibilidad de agua por aumento de la intercepción e infiltración

P <sub>max</sub> en 24 horas (mm) (probabilidad 10 %)	Aumento del agua infiltrada en % de la lluvia anual		
	Agrícola	Forestal	Pastos
< 40	15 %	18-20 %	16 %
40-60	12 %	15-17 %	13 %
60-80	10 %	13-15 %	11 %
80-100	8 %	11-13 %	9 %
> 100	6 %	9-11 %	7 %

(*Aguiló Bonnín, 1976*)

- Correspondientes a daños que se evitan por afluencia de aguas (que normalmente proceden de áreas dominantes), en las áreas dominadas
  - cuota decenal de seguro de daños de arrastre del suelo causados por avenidas (periodo de retorno de 10 años o probabilidad anual del 10 %, no catastrófico)

En la cuenca dominante	Precipitación máxima en 24 horas (probabilidad anual 10 %)		
	Pendiente media	60 mm	80 mm
< 5	3 %	6 %	10 %
5-15	6 %	12 %	20 %
15-25	10 %	20 %	33 %
> 25	15 %	30 %	50 %

(Aguiló Bonnín, 1976)

- cuota decenal de seguro por destrucción de cultivos (tanto por arrastre, como por anegamiento prolongado)

En la cuenca dominante	Precipitación máxima en 24 horas (probabilidad anual 10 %)		
	Pendiente media	60 mm	80 mm
< 5	15 %	30 %	50 %
5-15	30 %	60 %	100 %
15-25	50 %	100 %	100 %
> 25	75 %	100 %	100 %

(Aguiló Bonnín, 1976)

- Beneficios derivados de la mejora de la infiltración con la progresión de la serie, o sea, la mejora de la lluvia aparente para las plantas y disminución en el tiempo de la escorrentía superficial

El canon por mejora de la infiltración considerado en los beneficios suelo-agua, se refiere a un momento concreto y actual de la evaluación financiera. Es preciso considerar también la evolución del mismo a largo plazo con las acciones de corrección propuestas que cambian la lluvia aparente, por lo que se evalúa la modificación del número hidrológico que la evalúa, N, a través del % de variación de S, (Ver *Anexo Transporte del Suelo*), y por tanto de la escorrentía. Con esta información puede reutilizarse la tabla de canon por mejora de la infiltración, en este caso con la reducción de la lluvia aparente para las personas (escorrentía), y en consecuencia el aumento de la lluvia aparente para las plantas (capacidad de reserva hidrológica del suelo e infiltración).

- Beneficios de prolongar la vida útil de un embalse

La velocidad media de aterramiento de un embalse será:

$$\text{densidad de los sedimentos} \times \text{volumen de suelo transportado} \times C_r \times C_c$$

siendo

$C_r$ , el coeficiente de retención, pues sólo parte de las suspensiones se depositan

$$C_r (\%) = 100 \times (1 - (1 / (1 + K_r \times C / S)))$$

$K_r$ , un coeficiente que oscila entre 0,096 y 2,1 según rotación del agua en el embalse

C, la capacidad del embalse en Hm<sup>3</sup>

S, la superficie de la cuenca en Km<sup>2</sup>

$C_c$ , el coeficiente de compactación de los materiales

Las pérdidas ocasionadas por el volumen de agua que no se embalsa por estar su espacio ocupado por lodos, evaluable al conocer el precio del m<sup>3</sup> de agua, son el desaprovechamiento de parte de las inversiones incurridas en la construcción del embalse.

Tanto en el caso de aumento de productividad, como de disponibilidad de agua para el consumo, energía o riego, que podamos conseguir a largo plazo, es preciso capitalizar:

$$\text{valor actual de la producción y ahorros futuros} = V \times (1 + 1/r)$$

Siendo

V el valor de lo producido y lo ahorrado cada año  
r el rendimiento de la inversión (interés - IPC)

## METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

Hasta aquí conocemos la descripción y medida de los conceptos a utilizar para definir y cuantificar los procesos de desertización, y justificar un plan de acciones estimando sus consecuencias. Veamos como realizaríamos en la práctica un Estudio de Lucha Contra la Desertización.

Para ello primero hay que definir los objetivos de dicho estudio, o sea el alcance, que de menor a mayor puede ser,

1. *descripción de procesos*
2. *medida de los procesos*
3. *acciones a realizar*
4. *justificación presupuestaria*

nivel de detalle, que de menor a mayor puede ser,

1. *estudio*
2. *plan*
3. *proyecto*

correspondiéndose ambos aspectos horizontalmente, es decir, que lo lógico es realizar de menor a mayor:

### **1. un estudio descriptivo**

### **2. un plan de acciones**

### **3. proyecto de lucha**

En cualquier caso la desertización es tratable ecogeográficamente, y es preciso disponer sobre mapas la información descriptiva de los ecosistemas.

La selección del objetivo dependerá de:

- la diversidad de la zona a estudiar, pues variables como la división de la propiedad, orografía, variedad de usos, grado de desertización, ... recomendará técnicamente un nivel de detalle
- presupuesto disponible, pues a mayor detalle, no sólo más extensión sobre planos, sino además, menor disponibilidad de información y mayor complejidad para el tratamiento de la misma.

Por la información disponible podemos dividir los objetivos posibles según la escala temática a la que definamos trabajar:

*Estudio Descriptivo.....>1:200.000*

*Mapas temáticos publicados y ocasionales comprobaciones "in situ"*

*Plan de Acciones.....1:50.000/1:200.000*

*Mapas temáticos publicados, fotointerpretación aérea y muestreo representativo (subjetivo)*

*Proyecto de Lucha.....1:5.000/1:50.000*

*Mapas temáticos publicados, restitución fotográfica y muestreo estadístico*

Describiremos en este capítulo brevemente estas técnicas.

Pero hay que entender adecuadamente el concepto de escala temática, que no es el tamaño del mapa en que vamos a trabajar, sino el nivel de detalle de la información en el contenida. Diferenciamos los significados de términos que a veces son confusos:

- Escala es la relación entre las distancias medidas sobre el mapa y las distancias reales. La cantidad de información que puede contener un mapa está en relación directa con su escala; la que realmente contiene no lo está necesariamente (al pasar, mediante pantógrafo u ordenador, información geográfica temática de una escala inferior a superior, se obtiene un mapa con mayor escala, pero no con mayor detalle). Por ello se insiste en el concepto de escala temática, que no es cuestión de tamaño, sino de información.

Puede darse el caso de escalas temáticas de mayor detalle que la escala de tamaño del mapa por facilidad de manejo y publicación (por ejemplo en el Inventario Forestal Nacional II), pero es preciso insistir en que el paso contrario es incorrecto pues introduce errores.

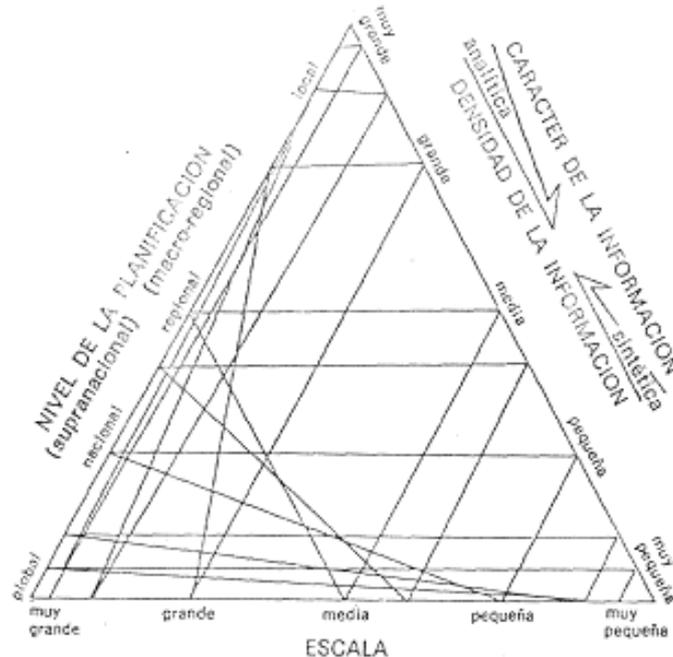
Se suele considerar como dimensión mínima cartografiable, la de un círculo de cuatro milímetros de diámetro, que equivale a escala 1:50.000 a algo más de 3 hectáreas. Esta unidad mínima puede reducirse a un milímetro con determinadas tecnologías de digitalización automática.

- Exactitud puede entenderse en:
  - sentido *absoluto*, como correcta o incorrecta
  - sentido *relativo*, como el grado de precisión en la obtención, medida y representación de la información

Se refiere tanto a la delimitación de los polígonos temáticos, como a su contenido.

- Detalle, o cantidad de información, que más que función de la escala depende de la diversidad de las variables que se cartografian

La disponibilidad de la información es la que limita la capacidad presupuestaria del objetivo de trabajos en este campo, pues a cada escala temática recomendada no será suficiente disponer del tamaño, sino más aún del detalle (precisión se la supone la mejor posible).



(Bartkowski, 1979)

Analicemos la información básica disponible:

- Cartografía temática, acompañada de libretos explicativos de la metodología seguida y de la génesis y descripción de cada estrato
- *Instituto Cartográfico del Ejército*

Mapas Topográficos 1:10.000 1:25.000 1:50.000 1:200.000 ...

Instituto Geográfico y Minero

Mapa Geológico 1:50.000 1:200.000 1:1.000.000

Mapa Litológico 1:50.000

- *Dirección General de Producción Agraria*

Mapa de Cultivos y Aprovechamientos 1:50.000 (con estadísticas de producción agraria, ganadera y forestal)

Mapa de Clases Agrológicas 1:50.000

Mapa de Ordenación Productiva 1:50.000

Mapa Agronómico 1:200.000

- *Instituto para la Conservación de la Naturaleza*

Inventario Forestal Nacional 1:50.000 (de escala-tamaño 1:250.000)

Mapa de Agresividad del Clima 1:1.000.000

Mapa de Series de Vegetación de España 1:400.000

- *Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias*

Mapa de Productividad Forestal 1:1.000.000

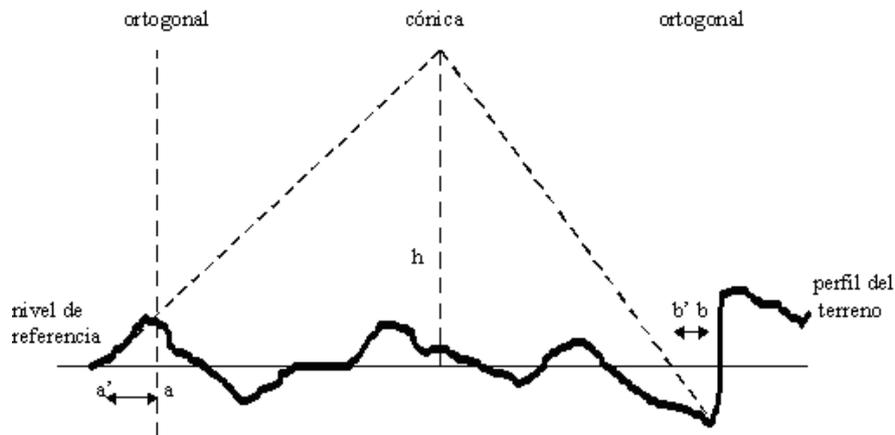
- Varios

En cada zona o provincia pueden encontrarse puntualmente estudios locales con mapas topográficos 1:5.000, mapas de suelos 1:250.000, etc...

- Fotografía de reportaje (para ilustrar el estudio), o aérea, para:
- Crear cartografía necesaria pero no disponible
- Actualizar cartografía básica
- Planificar muestreos geoestadísticos

MAPA	FOTOGRAFÍA
Perspectiva ortogonal (prismática)	Perspectiva cónica
La proyección de rasgos topográficos coincide con su vertical	La proyección coincide con un vértice central Los puntos por debajo del nivel de referencia se desplazan hacia el centro (b-b') Los puntos por encima del nivel de referencia se desplazan hacia fuera (a-a')
No hay desplazamiento	Cuanto menor es la altura del vuelo (h), mayor el desplazamiento (a-a' y b-b') Cuanto mayor es la altura o profundidad del punto respecto al nivel de referencia, mayor es el desplazamiento (a-a' y b-b') Cuanto mayor es la distancia del centro, mayor es el desplazamiento (a-a' y b-b')
Escala constante e independiente de la orografía	Escala constante sólo en terreno llano, mayor para montañas y menor para valles
No existen distorsiones	Los bordes de las fotos presentan distorsiones en función del tipo de lente, terreno, etc... El aprovechamiento se reduce aproximadamente al 80 %

(López Vergara, 1978)



Existen numerosos vuelos, y periódicamente se realizan más, si bien en cada caso son variables:

- calidad: nubes, visibilidad, posición del Sol (sombras),...
- fecha de realización: desde los primeros vuelos americanos de los años 50 y en distintas estaciones del año, hasta la fecha y previsiblemente aún más en el futuro
- altura de vuelo: con escala real desde 1:10.000 a 1:50.000, siendo las más usadas las de 1:18.000 (fotografías de 18x18 o 23x23 cm)

Nivel de detalle	Escala adecuada
Reconocimiento	< 1:50.000
Semidetallado	1:40.000
Detallado	> 1:20.000

- cobertura: nacional, autonómico, regional, provincial, local
- tipo de película:
  1. pancromática (blanco y negro), rápida, bajo coste y sensible a todo el espectro visible
  2. color, de mayor coste y mayor facilidad de interpretación
  3. infrarroja (blanco y negro), se utilizan para diferenciar diferentes especies, pero las sombras son muy oscuras y por lo tanto son inadecuadas para fuertes relieves
  4. falso color, tienen las ventajas de las dos últimas

color real	color en fotografía
Verde	azul
Rojo	verde
Calor	rojo

- localización de la cámara:
- panorámicas, útiles para reconocimiento pues se realizan desde puntos elevados (picos,...)
- aéreas, desde un avión, con un plan de vuelo a lo largo de corredores paralelos con velocidad constante, de tal manera que se solapan longitudinalmente las impresiones un 60% y lateralmente un 20% (así cada punto del territorio aparece en un mínimo de 2 fotogramas, y normalmente de 3

a 6); es recomendable realizar el vuelo en días despejados al mediodía y en Primavera-Verano para evitar al máximo las sombras

- teledetección, desde satélite, en general utilizado para grandes superficies y pequeñas escalas, si bien tienen una resolución de hasta 0,5 hectáreas; existe información disponible sobre papel o digitalizada del *Landsat*

Banda	Espectro	Longitud de onda (micrometros)
4	Visible	0,5-0,6
5	Visible	0,6-0,7
6	infrarrojo	0,7-0,8
7	infrarrojo	0,8-1,1

(bandas utilizadas por el *Landsat*)

La utilización de la fotografía aérea está muy extendida, y por el solape con el que se planifica el vuelo, permite la visión estereoscópica (en relieve) del perfil, pero no es utilizable directamente para medir superficies al tratarse de una perspectiva cónica que tiene que restituirse a paralela, por lo que se usa para:

- restitución de mapas: con restituidores analógicos o digitales, (en base a una triangulación previa)
- fotointerpretación: con estereoscopio de espejos y barra de paralaje (que permite medir alturas)
- soporte al reconocimiento de campo: con estereoscopio de lentes

Para su utilización es necesario reconstruir el Plan de Vuelo, y ya sea en base a triangulación, mapa topográfico o mapa temático, fotointerpretar los diferentes estratos presentes.

La escala temática es de nuevo diferente a la escala real, y dependerá de la diversidad de estratos distinguibles, aunque normalmente podrá conseguirse un detalle de escala temática superior a la escala-tamaño de la foto. Los vuelos a 1:18.000 pueden permitir restituciones a mapa 1:5.000.

La correcta utilización de esta herramienta es simple, si bien es preciso un aprendizaje previo tanto de las nociones básicas teóricas, como la práctica de diferenciación de estratos.

- Información estadística a nivel nacional publicada por diferentes organismos, entre los que merece destacar:

1. *Instituto Nacional de Estadística*
2. *Censo Agrario de 1989*, editado por provincias, con información de
3. la evolución de los usos agrícolas, ganaderos y forestales
4. *Instituto Nacional de Meteorología*

Suministra listados, con el tamaño de la serie (número de años), por cada estación de valores medios mensuales:

- estaciones de tercer orden
- *pluviometría (y suma anual)*
- *precipitación máxima (y máximo anual)*
- *número de días de lluvia superior a 30, 10, 1 y 0 mm*
- *número de días de tormenta, lluvia, nieve, rocío y escarcha*
- estaciones de segundo orden
- *temperaturas medias*

- *temperaturas máximas*
- *temperaturas mínimas*
- estaciones de primer orden
- *pluviogramas (información unitaria)*
- *exposición*
- *viento*
- *humedad*

Tal como hemos comentado anteriormente cada nivel incluye la información de los niveles anteriores e incrementa su precisión.

- Información discreta, muy variable en cada caso, pues se compone de estudios, libros, tesis, proyectos, estadísticas, inventarios, planes, ordenaciones,... de diversos temas científicos, técnicos, sociológicos, ... como geología, edafología, botánicos, de vegetación potencial, paleontología, fauna, hidrología, cinegéticos, paisaje, ecológicos, de erosión, agricultura, ganadería, económicos, sociología, historia, ... procedentes de organismos oficiales, universidades,...

Pero toda esta información básica será tanto más insuficiente cuanto mayor sea la escala temática elegida, y si ese nivel de detalle es necesario será precisa la recopilación de información “de campo”:

- Descripción sociocultural, ya sea en base al contacto con las gentes del lugar, o con procedimientos más sofisticados de encuesta estadística.
- Reconocimiento “in situ”, para actualizar y completar la información básica disponible. Para ello habrá que disponer de mapas, fotografías, estereoscopio de lentes, brújula, cámara, vehículo apropiado,... y es recomendable el apoyo de un práctico conocedor de la zona.
- Muestras representativas, en base a los mapas temáticos, fotografía aérea y el reconocimiento de campo, se definen zonas homogéneas y se toman muestras representativas sin criterio estadístico, para extender los resultados a dichas superficies predefinidas:

- *profundidad de suelo*
- *muestras de suelo*
- *estado y cobertura de la masa*
- *inventario de especies*
- *etc...*

- Muestreo estadístico, con la misma base anterior, si el nivel de detalle requerido es grande, debe sustituirse la toma de muestras representativa, por un muestreo estadístico, preferiblemente sistemático.

No describiremos aquí las técnicas utilizadas por ser motivo de disciplinas independientes, que se supone conoce o puede consultar el lector. Tan sólo recordar la importancia de una buena planificación previa y de la recomendación de realizar dos niveles de inventario para calcular adecuadamente el error permitido.

Como hemos dicho el alcance del trabajo estará definido por el presupuesto disponible y por el objetivo a alcanzar. No existen reglas fijas al respecto, pero como referencia puede tomarse que:

- El Estudio Descriptivo podrá realizarse con escasos presupuestos pues no precisa de procesamientos de información caros

- El Plan de Acciones tampoco será excesivamente caro si la diversidad es baja, pero si no es así, la determinación de la información pluviométrica y torrencial, edáfica y de biodiversidad, puede requerir amplios muestreos, dependerá de las publicaciones disponibles.
- El Proyecto de Lucha dispone de la información mapizada tan solo como referencia para realizar dos procesos de información caros:
  - *restitución fotogramétrica de estratos temáticamente homogéneos*
  - *muestreo estadístico en dichos estratos*

El nivel de coste depende también de las herramientas informáticas disponibles, pues un Sistema Geográfico de Información, y la disponibilidad de mapas digitalizados pueden reducir los costes si existe una especialización en trabajos temáticos similares.

En cualquier caso, sea cual sea el nivel de detalle con el que se trabajará, el proceso de la información básica se realizará según lo explicado en la metodología, y normalmente en base a superposición de mapas, en las siguientes fases:

- Descripción y medición de la desertización y condicionantes de acción

#### 1 Proceso de la información orográfica

Del mapa topográfico, ya sea por proceso automático o manualmente, se extraerán los siguientes mapas e información:

*Altimétrico (cotas)*

*Hidrográfico (cuencas y cauces)*

*Clinométrico (pendientes)*

*Exposiciones (incidencia solar)*

*Infraestructura (camino, depósitos de agua, núcleos urbanos,...)*

*Cuencas visuales*

*Perfil longitudinal de los cauces*

#### 2 Traducción geográfica de la información en fotografía aérea

Ya sea por fotointerpretación o por restitución, se actualizan los mapas temáticos disponibles, principalmente el de vegetación, y se crean los siguientes:

Estratos de muestreo homogéneos (considerando además la información orográfica, edafológica, de vegetación y aprovechamientos)

Estratos de vegetación homogéneos en cobertura, estado, asociación vegetal,...

Secciones críticas de los cauces

#### 3 Proceso de la información de vegetación y fauna

Con la ayuda de la fotografía aérea, las zonas homogéneas de muestreo, los mapas de vegetación y el reconocimiento y muestreo de campo, habrá que definir zonas homogéneas en:

*Productividad*

*Biodiversidad*

además de describir cada uno de los estratos diferenciados

#### 4 Proceso de la información climatológica

En cada estación considerada, se calcularán:

*Climodiagramas*

*Curvas pluviográficas*

*Diagramas bioclimáticos*

y en base a ellos:

*meses de sequía*

*riesgo de heladas*

*torrencialidad*

*pluviometría*

Con dicha información y combinando climatología con estadística, se definirá un mapa de zonas homogéneas en las variables anteriores, contemplando además los vientos dominantes según la estación del año. Así se dispone de información suficiente para un mapa temático normalmente a escala de 1:50.000 a 1:200.000 (en función de la zona y relieve).

La cartografía de esta información suele ser la crítica para definir el nivel de detalle al que se puede llegar, pues si como ya hemos descrito, la escala temática se amplía mediante pantógrafo sin aumentar el detalle, se aumenta el tamaño, pero no la escala. Es especialmente por ello importante ser muy meticuloso en la construcción de esta información.

Con la información básica así procesada y mapizada, siguiendo el método descrito, se definirán zonas homogéneas en:

*agresividad del clima*

*erosionabilidad potencial*

*productividad potencial*

*vegetación potencial*

#### 5 Proceso de la información edáfica

En base al mapa geológico, litológico, clinométrico, de vegetación, de zonas de muestreo homogéneas y de vegetación, se definen las zonas de muestreo similares en suelo, y por muestreo, ya sea representativo o estadístico, se toman muestras de las variables edáficas que permitan definir en dichas zonas:

*profundidad*

*textura*

*materia orgánica*

*reacción (pH)*

*microorganismos*

*capacidad de intercambio*

*nutrientes*

y en base a dichas variables, tal y como hemos descrito en el método, calcular en cada estrato homogéneo:

*infiltración y capacidad de retención*

*erosionabilidad*

*productividad edáfica*

#### 6 Proceso de la información de usos

Se procesará la información estadística (Mapas de la *DGPA*, *Censos agrarios*,...), y de campo disponible para definir las productividades pasadas y actuales por uso y estrato homogéneo de las variables anteriores, describiendo las prácticas y procesos que se observen (abandono de cultivos, inundabilidad,...)

#### 7 Proceso de la información económica

Recopilación y resumen de las estadísticas de renta y producción por uso, extensión, técnica de aprovechamientos, inversiones, precio del suelo, mercados,...

#### 8 Descripción de la información sociocultural

Conclusiones de la consideración conjunta de circunstancias históricas, de costumbres, usos, cultura, renta, infraestructura,...

- Justificación y propuesta de acciones de lucha contra la desertización

Combinando la información temática anterior (del 1 al 6), obtendremos para las circunstancias actuales, y para varias opciones previsibles después de diferentes actuaciones (incendio, prohibición de uso, repoblación, aterrazado,...), mapas que en cada caso describirán geográficamente:

*agresividad climática*

*fragilidad edáfica*

*agresividad/fragilidad orográfica*

*protección del suelo por la vegetación*

*erosionabilidad*

*pluviometría aparente*

*vegetación potencial*

*biodiversidad*

y con ellos y el Mapa de Clases Agrológicas, los de zonas homogéneas, según la acción supuesta en cada caso:

*vocación*

*fragilidad*

*capacidad*

*productividad*

*matriz de impactos y riesgos*

Combinando dicha información con los condicionantes socioculturales, económicos y de impacto (medioambiental y de riesgos hidrológicos y de incendios), se concluirá con una propuesta de acciones seleccionadas y justificadas geográficamente en base a la recuperación de la productividad, estabilidad de la renta a largo plazo, incremento del valor de los ecosistemas y reducción de riesgos.

La correcta descripción y cuantificación de las relaciones causa-efecto, y la ponderación y medida de las consecuencias totales de las acciones propuestas, son argumentos de enorme peso para conseguir que los trabajos realizados tengan después un presupuesto asignado. La experiencia demuestra que los beneficios económicos demostrables son la fuerza que permite que un Plan se lleve a la práctica.

Evidentemente la aplicación práctica de todo ello precisa de un aprendizaje y experiencia a desarrollar, pero con los conceptos claros, la metodología *es como una receta de cocina, no basta con seguirla, y el que salga bien depende de los conocimientos, experiencia, y sobretodo del cariño de quien guisa.*

