

Análisis espacial de epidemias: Gradientes y patrones de enfermedad

- Las epidemias son procesos dinámicos de poblaciones en tiempo y espacio
- Hemos tratado en las pasadas clases lo relacionado a la variable “tiempo”, analizando la dinámica de esas poblaciones
- Sin embargo, las enfermedades usualmente se diseminan en espacio tanto como ellas se incrementan en el tiempo
- Debido a esa diseminación, la intensidad de la enfermedad no es la misma en el campo o parcela. HAY UN PATRON DE LA ENFERMEDAD
- La diseminación puede ser o no fácil de medir y cuantificar

Conceptos

- La diseminación de la enfermedad implica movimiento, pero las plantas no son las que se mueven, sino que esto lo hace el inóculo
- Vamos a considerar **diseminación (spread) como el resultado de dispersión (dispersal)**
- **Dispersión:**
 - Movimiento de inóculo (esporas, unidades de infección, propágulos, vectores virulíferos) desde un lugar a otro
 - Movimiento de inóculo desde un lugar donde se ha formado a otras localidades
 - » Involucra liberación, transporte y deposición
 - » Es un proceso físico
 - + Pionero: P.H. Gregory
 - + ver artículos de Aylor, McCartney, Huber, otros
- Dada la dispersión, la intensidad de la enfermedad varía sistemáticamente con la distancia desde la fuente (source) del inóculo
 - Hay más enfermedad en algunos lugares que en otros
- Nosotros podremos énfasis primariamente en la intensidad de la enfermedad y no con el inóculo

- Para la dinámica temporal, consideramos siempre la **curva de progreso de la enfermedad** (y versus t; o Y versus t; o (L+I+R versus t)
- Para la dinámica espacial, consideramos el **gradiente de la enfermedad**
 - **El cambio (generalmente declina) en intensidad de enfermedad sobre la distancia desde una fuente de inóculo**

Intensidad: incidencia, severidad o densidad
- Los gradientes pueden tener múltiples causas (las cuales sirven como una forma muy conveniente para clasificarlos)
 - **Gradiente ambiental**

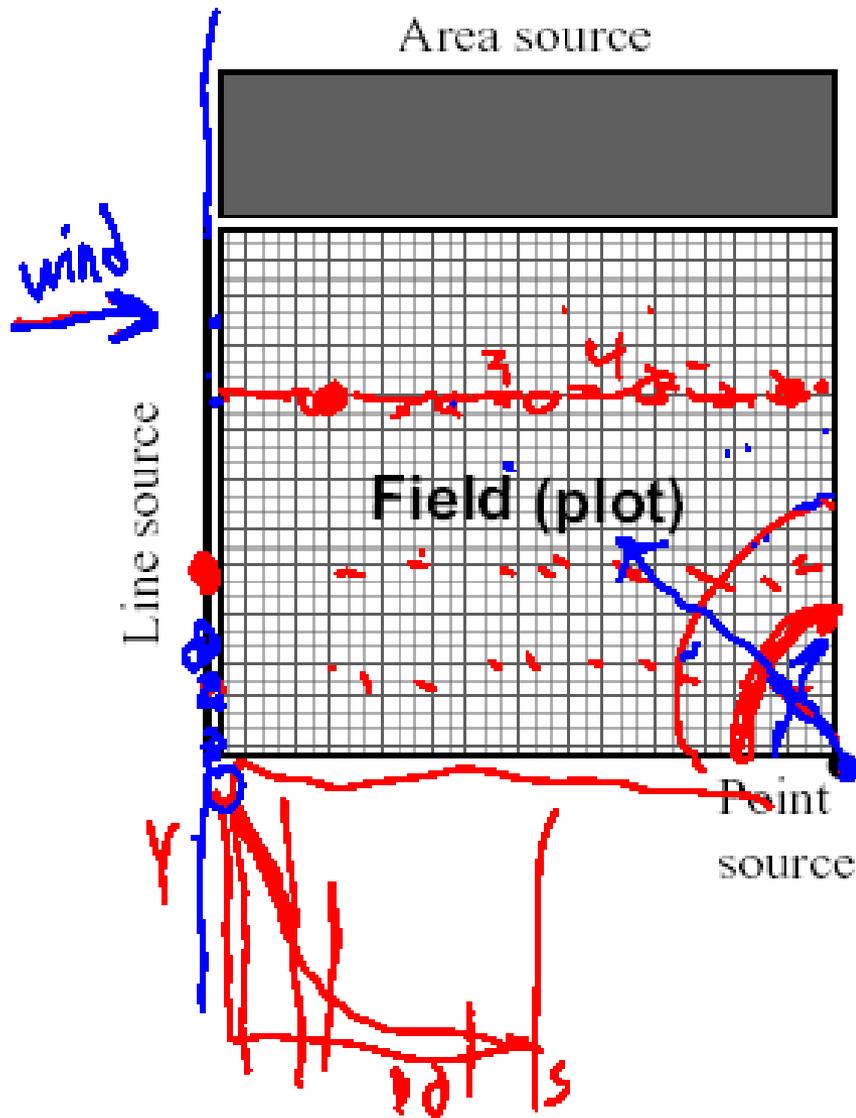
Gradiente de enfermedad debido a factores físicos o externos no relacionados con la dispersión o la biología de la enfermedad
 - **Gradiente de dispersión**

Gradiente de enfermedad causado por la variación en la deposición de inóculo en relación a la distancia desde una fuente de inóculo (es de nuestro interés)
 - **Gradiente de deposición**
 - (no es un gradiente de enfermedad) Es el inóculo depositado por unidad de área en relación a la distancia desde la fuente de inóculo
 - Los gradientes de deposición conducen a gradientes de dispersión

- **Gradientes de dispersión debido a la deposición son los que importan ahora**
- Más conceptos: **Fuente de inóculo**
 - Para enfermedades policíclicas, cualquier individuo infectado (e infeccioso [I]) es una fuente de inóculo para otros individuos libres de enfermedad (H)
 - Para enfermedades monocíclicas, la fuente de inóculo puede ser individuos infectados en otro lugar (“externo” a la epidemia corriente) o en otro año, o esporas en el suelo, o esporas originadas en cualquier lugar
 - Pero, para caracterizar el gradiente de dispersión, necesitamos ser más restrictivos en lo que se considera fuente de inóculo (una definición más operacional):

“Una concentración espacialmente restringida de esporas, unidades de infección, otras unidades de inóculo, o individuos enfermos que pueden producir inóculo”

Generalmente la fuente de inóculo es menor que el área de interés (campo)
típicamente consideramos la fuente “separada” del área de interés (por conveniencia de experimentación solamente)
- Clasificar fuentes de inóculo de acuerdo al tamaño y geometría



Tipos de fuentes de inóculo

- Área
- Punto
- Línea

Más clasificaciones de gradientes de dispersión

- **Gradientes primarios:**

- Todos los individuos enfermos (infecciones) son debido a esporas (u otras unidades e infección) originadas en la fuente de inóculo

- » Esencialmente: está relacionado a infecciones primarias (sean enfermedades policíclicas o monocíclicas)
- » Pueden continuar por largos o cortos tiempos

- **Gradientes secundarios:**

- Individuos enfermos (infecciones) son debido a inóculo producido fuera de la fuente de inóculo original (y de la población de huéspedes de interés)

- » Esencialmente: está relacionado con infecciones secundarias y epidemias policíclicas

Algunos gradientes pueden ser mezcla ambos tipos

Modelos de dispersión de gradientes enfermedades

- Así como en el caso de curvas de progreso de enfermedades, los epidemiólogos usan modelos (simples o muy complejos) para caracterizar gradientes
- Los modelos más comunes (y simples) con aceptable realismo biológico son determinísticos, tanto en la forma de las ecuaciones diferenciales, modelos no lineales integrados, o ecuaciones linealizadas
- Anotaciones:
 - s : distancia
 - Y : intensidad de enfermedad en unidades absolutas (lesiones), o densidad de esporas
 - Dado que muchos gradientes están relacionados a número de lesiones (o esporas), podemos empezar con Y
 - $Y(s)$: Y a la distancia s ó Y_s
 - y : intensidad de enfermedad como proporción
 - a y b : (con subíndices) son parámetros
 - dY/ds : tasa absoluta de cambio en Y con el cambio en distancia (s): es la pendiente del gradiente

Modelo exponencial (exponencial negativo)

- Usado primero por Frampton (1942) y Gregory&Read (1949) para gradientes
 - Pero muchos lo llaman Kiyosawa&Shiyomi (luego del paper de ellos)
- **$dY/ds = -b_E Y$**
 - La tasa absoluta es negativa, porque Y declina con la distancia
 - La tasa es proporcional a Y , significando: mientras más grande Y , la pendiente declina
 - b_E : **parámetro de dispersión o diseminación**: unidades 1/distancia
 - función del proceso de dispersión y propiedades de huésped y patógeno
 - mientras más susceptibilidad, o agresividad (mayor eficiencia de infección), o menor densidad del cultivo, por ejemplo, resultará en un valor menor de b_E (cerca de 0)

Modelo exponencial (exponencial negativo)

- $dY/ds = -b_E Y$

$$Y = a_E \exp[-b_E s]$$

- a_E :

- parámetro, constante de integración, valor de Y a $s = 0$, $Y(0)$ ó Y_0 (porque $\exp[-b_E 0] = \exp[0] = 1$)

- Indicador del alto de la curva

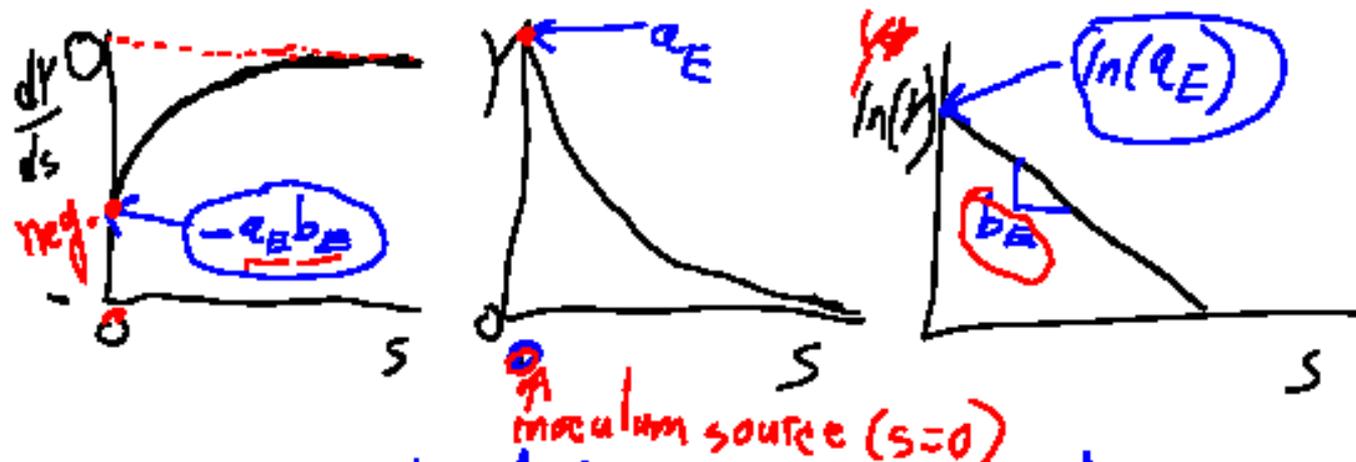
- Mide “la fuerza de la curva” – estima (o predice) la cantidad de inóculo en la fuente

- Recordar: en experimentos, uno a menudo no observa directamente Y en la fuente

- $\ln(Y) = \ln(a_E) - b_E s$

- Modelo lineal en términos de $\ln(a_E)$ y b_E : $Y^* = a + -b \cdot s$

- Nota: en análisis de la regresión: se asume que hay + entre los términos- Por lo tanto, uno obtendrá una pendiente negativa, aún cuando b es realmente positivo (la parte – del modelo)



Modelo potencial (power-law)

- Llamado también modelo de Gregory porque el fue quien lo usó (1968)
- $dY/ds = -b_p Y/s$
 - La tasa absoluta es negativa, porque Y declina con la distancia
 - La tasa es proporcional a Y , significando: mientras más grande Y , la pendiente declina
 - La tasa es inversamente proporcional a la distancia (s) lo que significa: que la tasa es menor al incrementar la distancia
 - (pero Y también es menor, por lo tanto se complica)
 - b_p : **parámetro de dispersión o diseminación**: sin unidad (1/distancia está explícito en el modelo)
 - función del proceso de dispersión y propiedades de huésped y patógeno

Modelo potencial (power-law)

- $dY/ds = -b_p Y/s$ $Y = a_E s^{-b_p}$

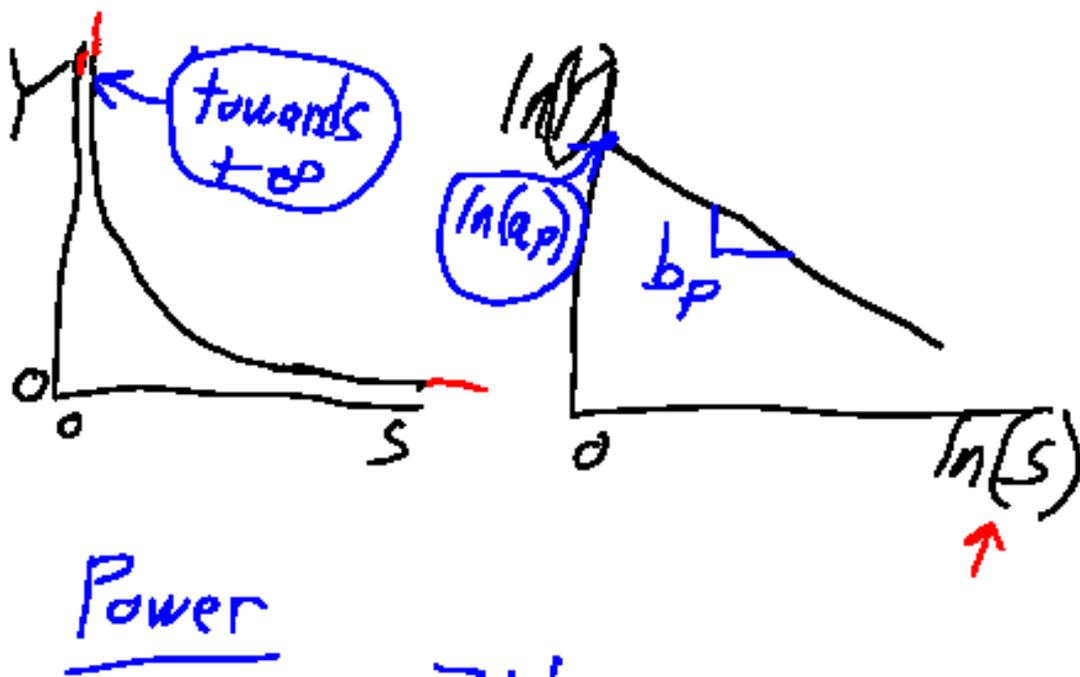
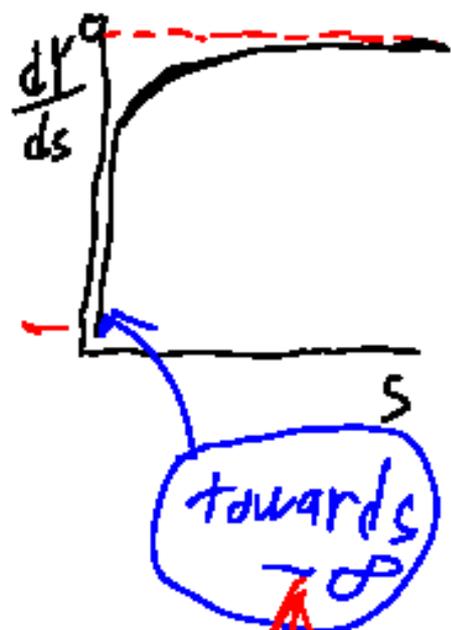
- a_p :

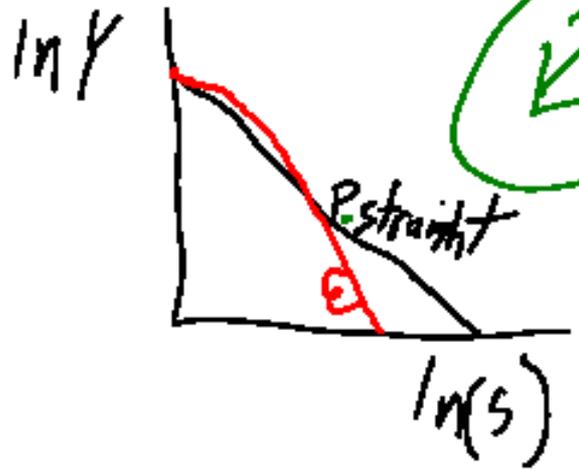
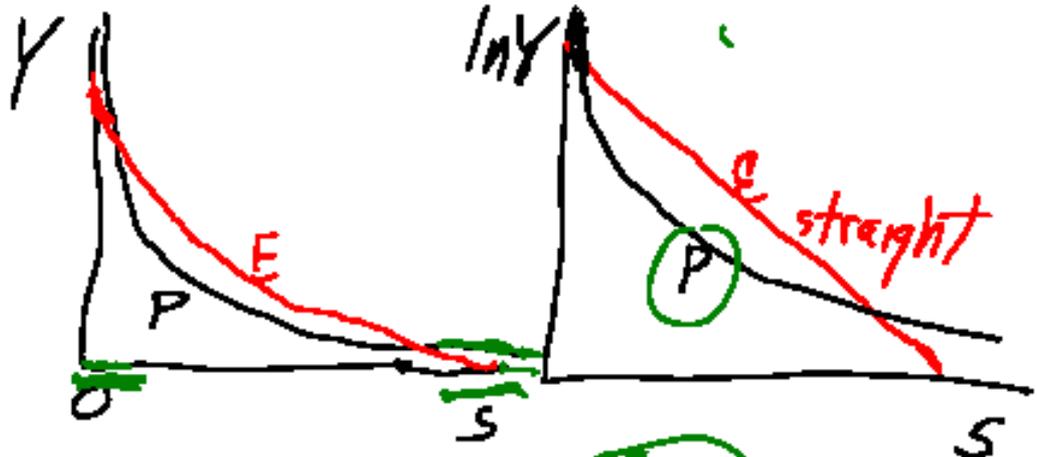
- Es un tipo de parámetro que mide “la fuerza de la fuente”
- Indicador del alto de la curva
- Estima el valor de Y a $s=1$ (no $s=0$), $Y(1)$ o Y_1
 - . Si $s=1$ y $a_p 1 = a_p$
 - . Hay que usar una escala de distancia chica para Y cerca de la fuente
- A $s=0$ el modelo es indefinido (no se puede dividir por 0)
 - . Y se aproxima a $+\infty$ en el límite a medida que s se aproxima a 0
 - . Por lo tanto **Y en la fuente es ∞** (imposible)

Pero el modelo puede ser excelente a $s>0$

- $\ln(Y) = \ln(a_p) - b_p \ln(s)$

- Modelo lineal $Y^* = a + -b.s^*$





Modelo potencial potenciado (agrega una constante, c)

- $dY/ds = -b_p Y/(s+c)$
- $\ln(Y) = \ln(a_p) - b_p \ln(s+c)$

$$Y = a_p (s+c)^{-b_p}$$

$$a_p (s)^{-b_p}$$

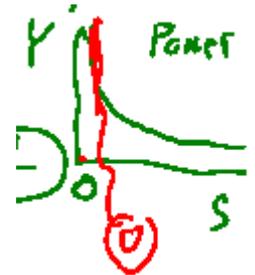
$$1-c+c=1$$

$$a_p \cdot 1^{-b_p} = a_p$$

- a_p : indicador de la altura de la curva
- c : es una constante arbitraria o tamaño aproximado de la fuente
- A $s=0$, todos los cálculos relevantes son posibles

$$Y_0 = a_p (c)^{-b_p}$$

es la fuerza de la fuente (comparable a a_E de la exponencial)



- Si se inserta $s=1-c$ en el modelo, el resultado es a_p
- por lo tanto a_p es predicho Y a $1-c$ unidades de distancia a la izquierda de $(-c)$ (Pensemos en que c es el diámetro de la fuente de inóculo)

- Los gráficos son muy parecidos a los del modelo potencial (excepto que es muy cercano a la fuente)
- El modelo estándar del potencial es un caso especial (con $c=0$)

Hay dos modelos fundamentales para los gradientes de enfermedad

Exponencial

$$dY/ds = -b_E Y$$

$$Y = a_E \exp(-b_E s)$$

$$\ln(Y) = \ln(a_E) - b_E s$$

Deposición de esporas
la (baja turbulencia del aire)

Potencial modificado (c)

$$dY/ds = -b_P Y(s+c)$$

$$Y = a_P (s + c)^{-b_P}$$

$$\ln(Y) = \ln(a_P) - b_P \ln(s + c)$$

Dilución & escape de esporas desde
canopia (alta turbulencia del aire)

- Se han propuesto otros modelos, incluyendo la combinación de exponencial y power-law
- Estos son suficientes para muchos estudios

Uso de modelos

- **Selección del modelo**

- **Aproximaciones gráficas y estadísticas**

- **Plots** de dY/ds (estimado) versus s , Y vs. s
y $\ln(Y):s$ y $\ln(Y):\ln(s+c)$ ←----- la mejor forma

- a diferencia de lo que ocurre en los modelos temporales Y^* es la misma para los dos, pero s no tanto s o $\ln(s+c)$

- **Ajuste de modelos**

- o Por mínimos cuadrados ordinarios

- $\ln(y)$ versus s o $\ln(Y)$ versus $\ln(s+c)$

- Usar $c=0$ (estándar)

- O tratar varios valores de c , desde 0 hasta la menor distancia observada (0, 10, 20, 30...)

- Preferencia 1/2 entre 0 y la primer distancia (Madden)

- o Mínimos cuadrados no lineales

- En ese caso se puede estimar directamente c

- o Evaluación de los **residuales**

