

5.3. EFECTOS DE LA AGRICULTURA INTENSIVA

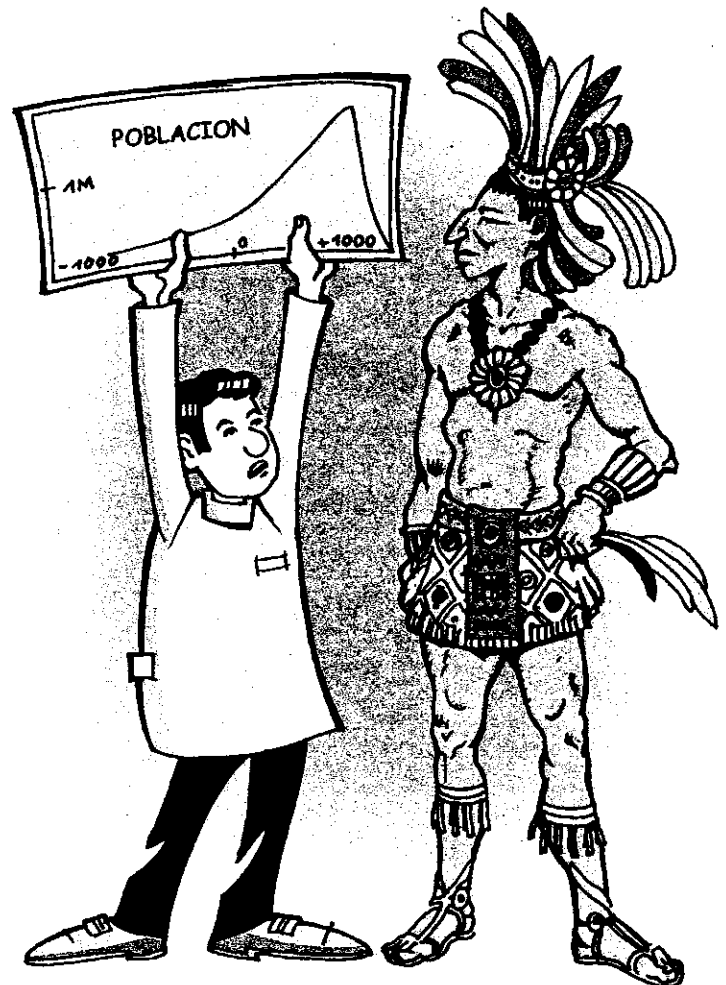
Uno de los más grandes misterios de la historia de la Humanidad ha sido el repentino colapso de una de los principales centros de la civilización Maya en Centroamérica justo en el momento en el que aparentemente era un foco de cultura, arquitectura y población, hacia el año 800 d.C.

Nadie conoce exactamente porqué esta próspera sociedad de varios millones de personas no pudo tomar en su momento las medidas correctoras necesarias para evitar el colapso de su cultura. Las recientes investigaciones muestran una gradual tensión entre población y medio ambiente que finalmente pudo haber sido crucial en el colapso. El medio ambiente tropical es notoriamente frágil. A través del conocimiento de lo que los Mayas hicieron podemos extraer conclusiones que nos permitan conservar mejor nuestro entorno. Un conocimiento que puede ser especialmente valioso para los países del Tercer Mundo.

Justo antes del cataclismo, las nuevas investigaciones sugieren que la población alcanzaba una densidad de 200 a 500 personas por kilómetro cuadrado. Esta densidad de población sugiere casi con certeza que poseían avanzados sistemas de agricultura o un comercio a gran escala.

Durante el transcurso de 2 a 4 generaciones Mayas, lo que probablemente abarca menos de 100 años, la población cayó a lo que había sido 2000 años antes, que era 20 habitantes por kilómetro cuadrado o menos, y en ocasiones muy distantes entre sí. Además, después del colapso, zonas enteras han permanecido casi deshabitadas durante mil años, prácticamente hasta mediados de este siglo.

Algunos cambios ambientales que aún hoy en día son apreciables parecen haber sido los desencadenantes de la total pérdida de población. Lagos que eran aparentemente centros de encuentro en la época Maya aún no han recuperado el grado de productividad que hicieron de sus orillas un buen lugar para vivir hace más de 1000 años.



Estos indicios sobre el pasado han sido hallados durante una investigación de ocho años por científicos de la Florida State University y de la University of Chicago. Sus trabajos mostraron un crecimiento casi exponencial de la población Maya durante por lo menos 1700 años en las tierras bajas tropicales de lo que actualmente es Guatemala.

Las cifras de población se doblaban cada 408 años, de acuerdo con las nuevas estimaciones. Esta tendencia puede haber cogido a los Mayas en una trampa sorprendente. Su población crecía a un ritmo estable, y durante muchos siglos el crecimiento era demasiado lento para que cada generación pudiera apercibirse de lo que estaba ocurriendo.

La creciente presión durante siglos sobre el medio ambiente puede haber llegado a un punto imposible de mantener. Incluso es posible que esta presión haya sido imperceptible, hasta que se produjo la huida masiva de la población en el final. Los especialistas creen que en otras regiones más al Norte, la calidad de vida de las civilizaciones Mayas parece también haberse deteriorado aunque sin alcanzar una caída de población tan espectacular.

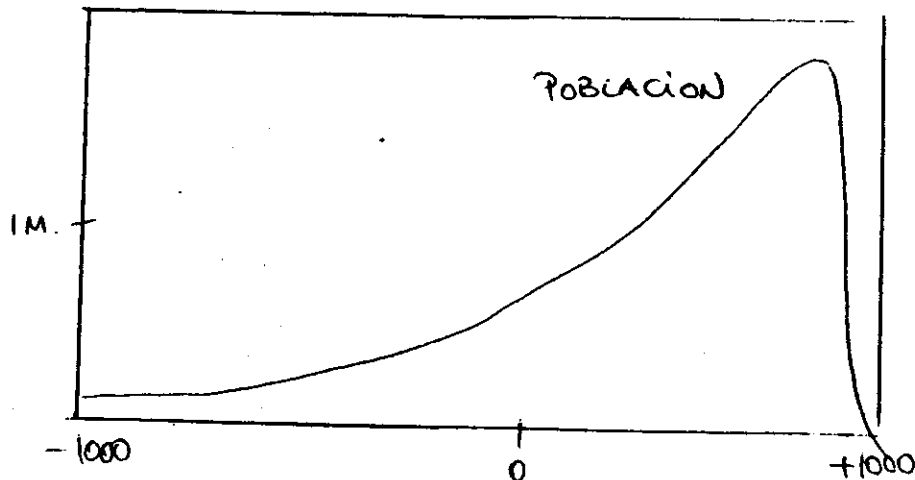
Las nuevas estimaciones para las tierras llanas del sur se basan principalmente en un estudio detallado de los edificios residenciales que fueron construidos, ocupados y abandonados durante siglos.

Los estudios se han centrado en una región que posee dos lagos adyacentes, ahora con el nombre de Yaxha y Sacnab hacia el norte de Guatemala. La zona se empezó a habitar hace unos 3000 años y los primeros enclaves agrícolas aparecen sobre el año 1000 a.C. La tierra fue ampliamente deforestada hacia el año 250 d.C.

La agricultura que fue intensificada gradualmente parece haber ido acumulando sus efectos perjudiciales a un entorno originalmente verdoso. A esto hay que añadir el incremento de los asentamientos humanos y de otros trabajos de arquitectura de mayor envergadura. Los nutrientes esenciales de la tierra fueron arrastrados o se deslizaron hasta ir a parar a los lagos, disminuyendo la fertilidad de las tierras agrícolas.

El incremento en fosfatos en los lagos procedentes de la agricultura y residuos humanos muestran que la contaminación pudo haber agravado el daño al entorno. Los científicos han confirmado las estimaciones sobre la población en el incremento de los fosfatos que se produjo paralelo al incremento de la población. Los autores de la investigación señalan que es la primera vez que se puede justificar una correlación entre el incremento de población y el del daño al medio ambiente que lleva aparejado el primero.

Basado en el artículo
"Study Depicts Fall of
Mayan Civilization" de
Harold M. Schmeck en
New York Times
(23/10/1979)



RESUMEN

La población máxima alcanzada poco antes del año 1000 d.C. era de varios millones de personas (consideraremos 2 millones hacia el año 700 d.C. ya que el informe habla de 1700 años desde el inicio, hacia el año 1000 a.C.). La densidad final se hallaba entre 200 y 500 habitantes por km^2 (consideraremos 400). Una población de 2 millones de habitantes con una densidad de 400 habitantes por km^2 implica una superficie de 5.000 km^2 (que inicialmente consideraremos casi enteramente cubierta de selva).

Aunque se desconocen las tasas de natalidad y de mortalidad, una población que se duplica cada 408 años implica una tasa de crecimiento vegetativo del 0,17%, ya que $1 \times (1 + 0,0017)^{408} = 2$

Parece ser que el colapso de la civilización que se tradujo en la emigración masiva se debió a un exceso de población que agotó los recursos naturales disponibles. También parece que la contaminación de los lagos es más que un simple indicador del número de habitantes que la causa de los problemas de dicha civilización.

SUPERFICIE SELVÁTICA: Inicialmente de 5.000 km^2 , que se transforma en Superficie agrícola en base a la desforestación.

SUPERFICIE AGRÍCOLA: Inicialmente tomaremos 8 km^2 que es lo necesario para mantener a la población inicial.

DESFORESTACION: Son los km^2 que se transforman en superficie agrícola.

DEMANDA DE ALIMENTOS: Se calcula como el consumo de alimentos por habitante multiplicado por el número de habitantes.

INCREMENTO VEGETATIVO: La tasa de crecimiento vegetativo de la población del 0,17% según hemos calculado.

EMIGRACIÓN: Salida de población por falta de alimentos.

DIFERENCIA: Diferencia entre la Demanda de alimentos y la Producción de alimentos.

PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS: Calculada como la Superficie agrícola por la Fertilidad del suelo agrícola.

CONSUMO POR PERSONA: Constante en 400 kilos por habitante y año.

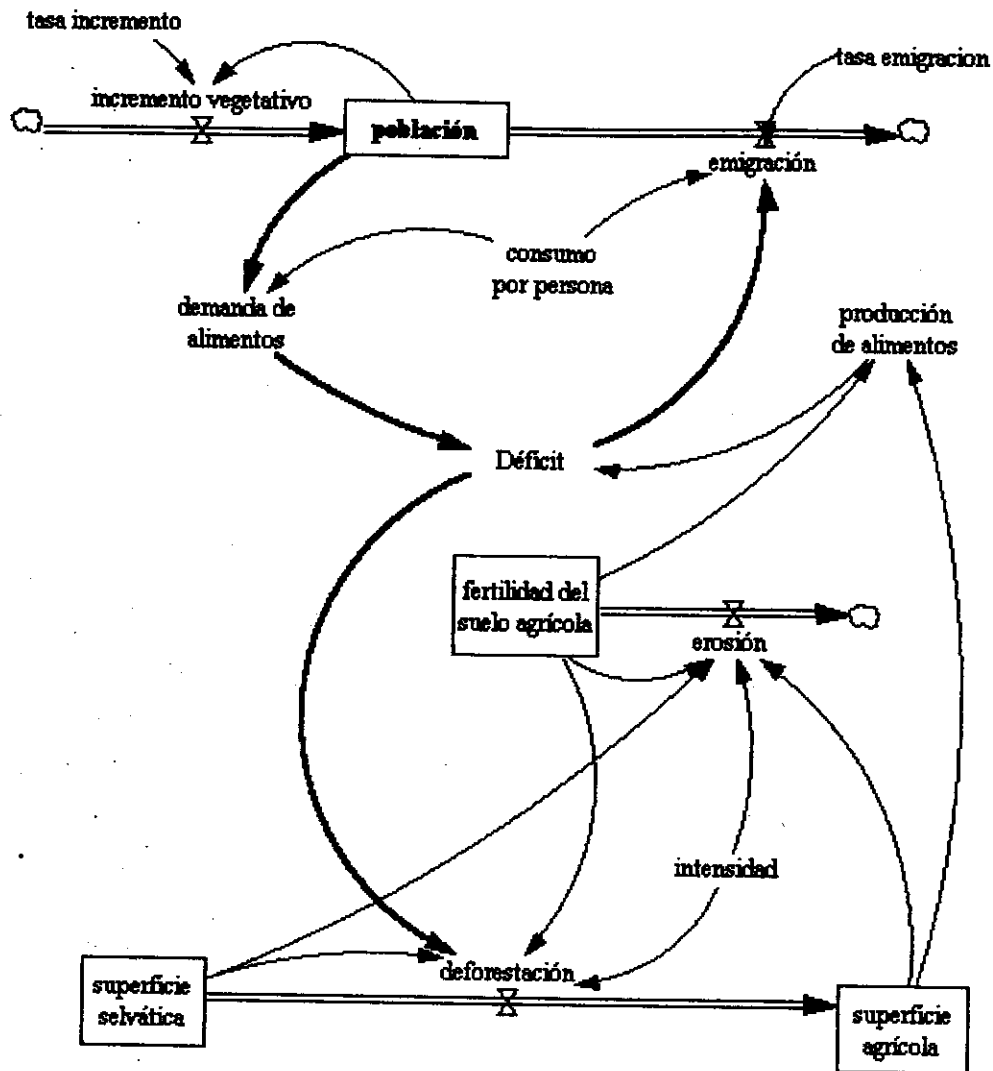
EROSIÓN: Variación de la fertilidad del suelo agrícola, medida en kilos de alimento por km^2 . Se calcula como una función cuadrática del cociente entre la Superficie Agrícola y la Superficie Selvática para recoger el efecto de que aumenta con la Superficie Agrícola.

FERTILIDAD DEL SUELO AGRÍCOLA: Medida en kilos de alimento por km^2 .

POBLACIÓN: Inicial de 100.000 habitantes en el año 1000 a.C. en base a que $2.000.000 = 100.000 * (1 + 0,0017)^{1800}$, ya que nos dicen que en el momento del colapso había 2.000.000 de personas.

DISEÑO DE UNA POLÍTICA

Ahora si usted pudiese retroceder 3000 años, indique que política podría establecerse para evitar el agotamiento de los recursos naturales.



NIVELES

$\text{población} = \text{incremento vegetativo} - \text{emigración}$

Initial value 100000

ver nota final

Units: persona

100.000 habitantes iniciales es la cifra aproximada que si se duplica en periodos de 408 años (dato) entre -1000 y +800 ofrece una cifra de población final de varios millones de habitantes (dato).

$\text{superficie agrícola} = \text{deforestación}$

Initial value 8

Units: km²

El valor inicial se obtiene de considerar un consumo de 40.000.000 kg al año, para 100.000 habitantes y una fertilidad inicial del suelo de 5.000.000 kg/km² y año.

$\text{superficie selvática} = -\text{deforestación}$

Initial value 5000

ver nota final

Units: km²

La cifra inicial se obtiene del dato de densidad 400 hab/km² y de la población final de 2.000.000 de habitantes.

fertilidad del suelo agrícola= -erosión

[ver nota final](#)

Initial value 5000000

Units: kg/(km²*año)

El dato inicial de 5.000.000 kg/km² permite obtener 40.000.000 kg por el cultivo de 8km², que es igual a la demanda inicial de alimentos de 100.000 personas con un consumo de 400 kg al año.

FLUJOS

deforestación=MIN(Déficit/MAX(fertilidad del suelo agrícola,1),superficie selvática/4)/intensidad

[ver nota final](#)

Units: km²/año

En esencia se deforesta la cantidad de km² necesarios para cubrir el Deficit de alimentos que se necesitan, lo que es función tanto del Deficit de alimentos (kg) y de la fertilidad o productividad del suelo agrícola (kg/km²). La función MAX se utiliza para que no aparezca un error al dividir por 0. La función MIN se usa para que como máximo se desforeste la superficie de selva que existe, y dadas las limitaciones físicas que esta sea un 25% del total de selva (sin influencia práctica). La intensidad permite regular la velocidad de este proceso. Cuando es igual a 1 quiere decir que cada año se deforesta la cantidad de selva necesaria para producir los alimentos que se necesitan.

emigración= (Déficit/consumo por persona)*tasa emigración

Units: persona/año

La variación debida a falta de alimentos la obtenemos de la relación entre el Déficit (kg/año) y consumo por persona (kg/persona/año), donde las unidades después de dividir son (personas/año). Lo corregimos por el factor "tasa de emigración" (5%) ya que consideramos conservadoramente que sólo emigra el 5% de los que no tienen comida ese año.

erosión=fertilidad del suelo agrícola*MIN(1,(superficie agrícola/superficie selvática)^2)/intensidad

[ver nota final](#)

Units: kg/(km²*año)/año

Se considera que la erosión es proporcional a la fertilidad existente del suelo y también de la relación que existe entre la superficie agrícola y la selvática de una forma cuadrática (para no usar una tabla).

incremento vegetativo=población*tasa incremento

Units: persona/año

El porcentaje del 0,17% recoge el neto entre nacimientos y defunciones. Así, la población alcanza 2.000.000 de personas tras 1800 años, partiendo de 100.000

VARIABLES AUXILIARES

demanda de alimentos=consumo por persona*población
Units: kg/año

Déficit =demanda de alimentos-producción de alimentos
Units: kg/año

consumo por persona=400

Units: kg/(persona*año)

Corresponde a algo más de 1 kg de alimentos, basicamente vegetales, por persona y día.

intensidad= 1

Units: año

Una misma variable recoge la intensidad (anual) con que se producen diferentes procesos:
1.- El periodo que se toma la poblacion para cubrir sus deficits alimentarios, y por lo tanto proceder a la deforestacion necesaria. 2.- El ritmo con el que se manifiesta la perdida de fertilidad del suelo, tal y como ha sido formulada.

producción de alimentos=fertilidad del suelo agrícola*superficie agrícola
Units: kg/año

tasa emigracion= 0.05

Units: 1/año

porcentaje de personas que emigran por falta de alimentos.

tasa incremento = 0.0017

Units: 1/año

ver nota final

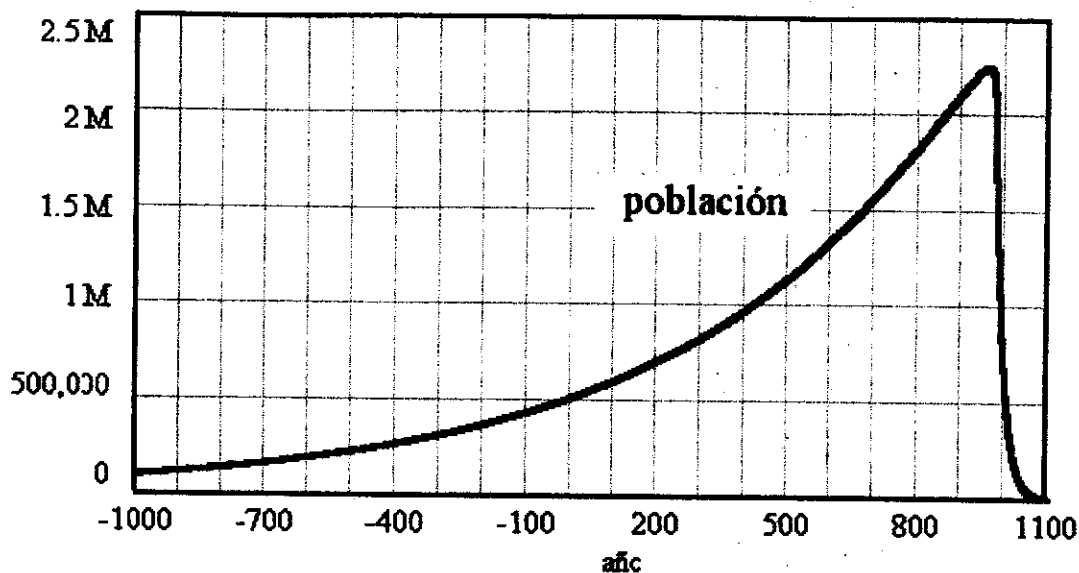
Que la población se duplica cada 408 años es un dato. El porcentaje de 0,170 % aplicado de forma continua hace que al cabo de 408 una cifra se duplique: $(1+0.0017)^{408}=2$

CONTROLES

TIME STEP = 1

INITIAL TIME = -1000

FINAL TIME = 1000



La evolución de la población que obtenemos en el modelo es prácticamente idéntica a la que nos describe el artículo de prensa, y por lo tanto a partir de aquí ya tenemos una cierta base para simular el efecto de posibles actuaciones correctoras.

Nota final

TASA DE INCREMENTO

El dato que tenemos al respecto es que la población se duplicaba cada 408 años. Es un dato curioso para aparecer así en un artículo de prensa. Lo normal es que el periodista hubiese puesto 400, pero no lo ha hecho. Bien si tenemos una población que se duplica cada 408 años, ¿qué tasa anual de incremento tiene? pues exactamente 0,1700% o sea que tenemos que $(1+0,0017)^{408}=2$ Seguramente el que hizo los cálculos obtuvo el valor 0,17% pero al periodista eso le pareció confuso, y prefirió poner el periodo de duplicación de la población, sin redondeo.

No podemos trabajar con más precisión de los datos base que tenemos. Seguramente el investigador que hizo los cálculos obtuvo unos resultados muy precisos, pero no creo que fuesen tanto como para diferenciar entre una tasa de incremento del 0.00170033407 que es $2^{(1/408)}$ y 0.001704515 que es $2^{(1/407)}$ y después paso el filtro de la persona que escribió el artículo, que no podía poner 408,x años. Es fácil pensar que el resultado del estudio fue una tasa del 0.17% (sin más decimales).

POBLACION INICIAL

Necesitamos disponer de la cifra de población inicial, pero solo disponemos de una estimación de la población final antes del colapso de "varios millones de personas". Vamos a tomar una población final de 2.000.000 de personas y conociendo la tasa de incremento podemos deducir que la población inicial era de 94.000 personas. Ya que partimos de una estimación de la cifra final podemos redondear la cifra inicial a 100.000 personas.

SUPERFICIE SELVATICA

Partimos de que por las razones que sean (otras poblaciones próximas es la hipótesis mas razonable, o bien accidentes geográficos como son los ríos), no podían expandirse ilimitadamente, y su zona natural era de unos 5000 km².

DEFORESTACION

La "deforestación" es la cantidad de Selva que se transforma cada año en Superficie Agrícola (son pues km²/año). ¿En base a qué deciden los Mayas cuantos km² adicionales de campos necesitan? Calculan el "Déficit" que tienen de alimentos (kg.), y lo dividen por la "Fertilidad del suelo agrícola" (kg/km²*año), y así obtienen cuantos km² han de deforestar. Eso es todo. El resto de elementos de la ecuación se añaden para evitar comportamientos irreales o compulsivos, o divisiones por cero.

Así el Max(fertilidad,1) se usa para que aunque la fertilidad descienda mucho, nunca llegue a ser absolutamente 0, lo cual es irreal y por otra parte nos provocaría una división entre 0 que colapsaría el modelo. El Min(....., superficie selvatica/4) se hace para que se deforeste la cantidad necesaria, pero si esta fuese una barbaridad, por ejemplo que se desease deforestar el 50% de la selva, ya que esto sería físicamente imposible, el modelo simularía como máximo una deforestación de la superficie selvatica/4 = 25%.

Estos juegos de hipótesis nos permiten avanzar en un modelo. Este modelo es un ejercicio que tiene una formulación un poco compleja ya que no se utilizan Tablas que siempre ayudan a entender el modelo. Veamos el significado de estos parámetros de otra forma:

a) El "1" que aparece tiene la siguiente utilidad: Queremos calcular la Deforestación (km²) como la división simple entre el déficit de alimentos (kg.) y la Fertilidad (kg/km²). Y esto es lo que contiene la fórmula en esencia. No obstante, si la Fertilidad que es inicialmente 5.000.000 llegase a ser igual a 0 el resultado de la división sería infinito y el modelo se bloquearía. Para evitar esto, decimos que el cociente sea el MAX(Fertilidad,1) o sea que tomaremos el valor máximo entre la Fertilidad y 1, de forma que si la Fertilidad fuese 0 tomaríamos 1 y el modelo no se bloqueará. Esa es la única utilidad de incluir el "1", evitar que el modelo se bloquee.

b) En relación al "4", es una hipótesis "escondida" en el modelo, que no se suele hacer y que no queda elegante hacerlo. El sentido de este valor es que no es razonable pensar que se va a deforestar lo que se desee de forma automática y sin ningún límite, y ponemos como límite que como máximo se deforestará 1/4 de la superficie selvática en un solo año. Es una hipótesis que no influye en el resultado final prácticamente, y tal vez sería mas claro suprimirla, ya que añade una complejidad no muy necesaria. Por ultimo lo dividimos por la intensidad para recoger y simular la rapidez con la que esta decisión se lleva a la practica. Tomamos una intensidad igual a 1 que significa que lo harán cada año, sin demorarlo en varios años.

FERTILIDAD

Crear un modelo es en muchas ocasiones como ensamblar un puzzle. Suponemos que no pasaban hambre ya que no indicios de tal hecho, pero tampoco derrochaban los escasos y costosos alimentos. Además no existían silos o almacenes de víveres. En base a esto establecemos que el Consumo en el año -1000 era: 100.000 personas x 400 kilos/persona y año = 40.000.000 kilos/año (el 400 es un número razonable, solo eso). Ya veremos donde nos lleva.

La Producción era igual al Consumo, en vista a los razonamientos anteriores. Por lo tanto producían 40.000.000 kilos/año. Y si tomamos una superficie cultivada (razonable) de 8 km², obtenemos que la productividad había de ser $40.000.000/8 = 5.000.000$ kilos/km². Hemos hecho pues dos hipótesis razonables, el consumo anual de 400 kg. y la superficie cultivada de 8 km².

Lo importante es que se mantenga la igualdad Consumo = Producción, ya que si nos hemos equivocado y consumían 300 kg., pues el consumo era de 30.000.000, y si la productividad la aceptamos, la superficie cultivada sería de 6 km². Podemos jugar con los números, pero al final el esquema ha de ser consistente. Este modelo no es la realidad, intenta aproximarse a ella con los datos que tenemos y unas hipótesis razonables.

EROSION

Este concepto recoge la pérdida de fertilidad del suelo, que por simplicidad se usa el término de "erosión". Ya que podemos suponer que conocían abonos ni nada similar hemos de trabajar con la idea de que la fertilidad de los suelos agrícolas iba a ir disminuyendo. Es la pieza que nos falta para acabar el puzzle. La última pero vital para que todo el resto encaje perfectamente.

La cuestión es ¿En base a qué disminuye la fertilidad del suelo a lo largo del tiempo?, y ¿cómo puedo modelarlo de una forma sencilla? (esto es un modelo para un curso no para una tesis). Es útil recordar el modelo de la Gestión de una Reserva Natural cuando trabajábamos con el tiempo de regeneración del pasto. El concepto de Erosión viene a ser la inversa del concepto de Tiempo de Regeneración del Pasto.

La definición finalmente tomada se basa en relacionar la erosión con la fertilidad (a más fertilidad más pérdida, en números absolutos), y también en base a la proporción de superficie agrícola y la selvática, ya que cuando esta proporción sea muy importante la erosión será mayor que cuando la proporción sea pequeña. Podemos avanzar incluso que esta relación no va a ser lineal sino cuadrática ya que cuando la superficie agrícola pase del 10% al 20% del total la erosión no se duplicará sino que muy posiblemente se multiplique por 4. Por lo tanto elevamos este cociente al cuadrado.

Solo un ajuste final hace falta. Utilizando un coeficiente de 2 (al cuadrado) el colapso se produciría en el modelo en el año 1000, que era posterior a lo que el texto explicaba. Tomando 1,9 en cambio el colapso se producía justo en el momento indicado. La expresión $(\text{superficie agrícola}/\text{superficie selvática})^{1,9}$ es siempre mucho menor que 1 ya que los valores iniciales son 8 y 5000, por lo tanto $(8/5000)^{1,9}$ será un valor muy pequeño. No obstante le ponemos un límite para evitar bloqueos del modelo, y es que este valor sea igual a 1, para ello utilizamos la función $\text{Min}(1, \dots)$ que tomará siempre el valor resultante del cociente entre las dos superficies, y como situación límite será igual a 1, es decir que la Erosión será igual al valor de la Fertilidad en aquel momento.