

# Límites al crecimiento

## La crisis de la civilización Maya

José Alfonso Delgado

Fecha

### La obsesión por crecer

La economía actual y la de siempre, ha estado marcada por una obsesión enfermiza o, posiblemente, inevitable, por crecer, por acumular más de todo. Ese crecimiento es propio de nuestras sociedades y de todos y cada uno de nosotros mismos.

Nacemos con el único objetivo de crecer en todos los sentidos, en talla, en peso, de conocimientos, en capacidades, en currículum académico y, por supuesto, en capacidad económica y poder adquisitivo. ¿Hasta dónde...?

Sólo en el mundo de la matemática, las funciones lineales son posibles. En el mundo real las funciones de crecimiento siempre quedan frenadas por elementos compensadores o si no, sencillamente terminan destruyendo aquello que pretendía crecer ilimitadamente.

Esto se puede afirmar con absoluta certeza matemática.

Como ejemplo de lo que aquí afirmamos, se presenta a continuación un hecho histórico que durante mucho tiempo ha constituido un auténtico misterio para los investigadores, la súbita desaparición de la civilización Maya.

### La extinción de los Mayas

Hacia el año 800 dC, la cultura Maya estaba en todo su esplendor, con una población de varios millones de personas. Destacó durante 18 siglos en muchos aspectos culturales tales como su escritura, uno de los pocos plenamente desarrollados en el periodo precolombino; su arte y arquitectura, su sistema de numeración, sus conocimientos en astronomía y su comprensión del medio ambiente.

El periodo llamado Clásico, comprende más o menos desde el año 250 al 900 dC.

Este periodo se considera como el que los mayas de las tierras bajas levantaron monumentos impresionantes. Este período marcó el apogeo de la construcción a gran escala y del urbanismo, la realización de inscripciones monumentales, y mostró un desarrollo intelectual y artístico significativo, sobre todo en las tierras bajas del sur. El panorama político del período Clásico maya, caracterizado por múltiples ciudades-Estado involucradas en una compleja red de alianzas y enemistades, ha sido comparado con el de Italia durante el Renacimiento o Grecia clásica. Las ciudades mayores tenían una po-



blación de 50 000 a 120 000 habitantes y estaban conectadas por redes de ciudades subsidiarias.

Pero tras el esplendor sobrevino la decadencia y el significativamente rápido abandono de estas ciudades, durante los siglos VIII y IX. Para la arqueología ha supuesto siempre un gran misterio sobre el que planean varias teorías, ninguna sin confirmar, sobre lo que provocó tal precipitado abandono de sus grandes ciudades.

Para unos, la causa estuvo en la intrusión de los toltecas en Yucatán. Otros opinan que estas invasiones lo fueron por culturas que no pertenecían a la cultura Maya. Sin embargo, la mayoría de científicos no creen que esta fuera la causa.

Se postula sobre la influencia de una ciudad denominada Teotihuacán (el lugar donde los hombres se convierten en dioses), al noreste y cerca de Ciudad de México, cuya influencia en la región pudo provocar algún tipo de invasión militar. Y como estas hay otras tantas hipótesis sobre lo que pudo suceder.

Pero de todas, la que puede ser la más probable fue la derivada del crecimiento exponencial de la población, de la consiguiente y necesaria deforestación para abastecer de recursos agrícolas a dicha población y el consiguiente deterioro del ecosistema selvático. Pero esta hipótesis es posible demostrarla mediante un sencillo modelo de simulación que demuestra con certeza matemática, que esto fue lo que pudo suceder.

Nadie conoce exactamente por qué 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. Una gradual tensión entre población y medio ambiente que finalmente pudo haber sido crucial en el colapso. El medio ambiente tropical es notoriamente frágil.

Justo antes del colapso, 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.

En cien años, más o menos cuatro generaciones, la población cayó a los niveles que había tenido dos mil años antes, 20 habitantes por kilómetro cuadrado, en aldeas muy distantes entre sí. Y lo curioso es que muchas y extensas zonas, tras su abandono han permanecido prácticamente deshabitadas hasta mediados del Siglo XX. 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 mil años.

Para demostrar esta hipótesis, científicos de la Universidades de Florida y Chicago<sup>1</sup>, elaboraron un modelo matemático de simulación de las condiciones de vida de los Mayas antes, durante y después del colapso.

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 cre-

---

<sup>1</sup> Basado en el artículo "Study Depicts Fall of Mayan Civilization" de Harold M: Schmeck en New York Times (23/10/1979)

cía a un ritmo estable, y durante muchos siglos el crecimiento era demasiado lento para que cada generación pudiera apercebirse 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 productividad 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.

## Modelo dinámico del colapso de la civilización Maya

La elaboración del modelo, en su fase textual, obedece a la siguiente descripción:

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<sup>2</sup> (consideraremos 400). Una población de 2 millones de habitantes con una densidad de 400 habitantes por km<sup>2</sup> implica una superficie de 5.000 km<sup>2</sup> (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 incremento 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<sup>2</sup>, que se transforma en Superficie agrícola en base a la deforestación.

**SUPERFICIE AGRÍCOLA:** Inicialmente tomaremos 8 km<sup>2</sup> que es lo necesario para mantener a la población inicial.

**DESFORESTACION:** Son los km<sup>2</sup> 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 NETO:** La tasa de crecimiento neto 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 productividad del suelo agrícola.

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

**EROSIÓN:** Variación de la productividad del suelo agrícola, medida en kilos de alimento por km<sup>2</sup>. 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.

**PRODUCTIVIDAD DEL SUELO AGRÍCOLA:** Medida en kilos de alimento por km<sup>2</sup>.

**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.

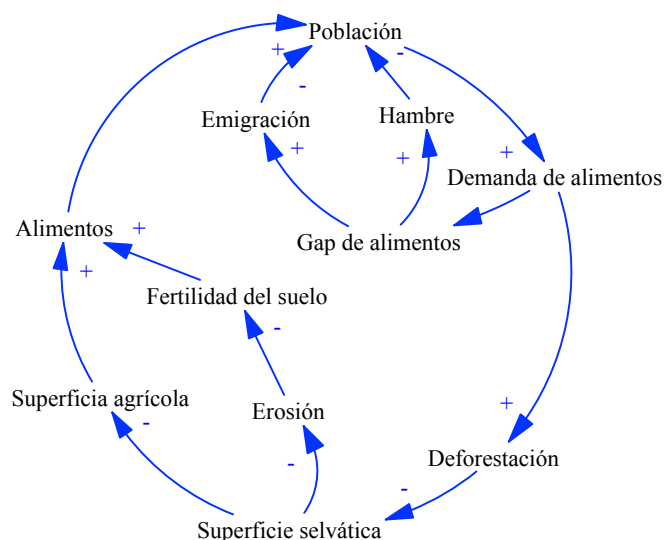
El modelo está basado en la técnica de Dinámica de Sistemas, donde el conjunto de variables influye unas con otras de modo positivo o negativo. Influencia positiva significa que si la primera aumenta, la segunda también aumenta y viceversa, si la primera disminuye, la segunda también lo hace.

La influencia negativa significa que si una aumenta, la otra disminuye y al revés, si disminuye la primera, la segunda aumenta.

Así que la representación gráfica de todas las variables, resulta ser la que muestra el “diagrama causal”.

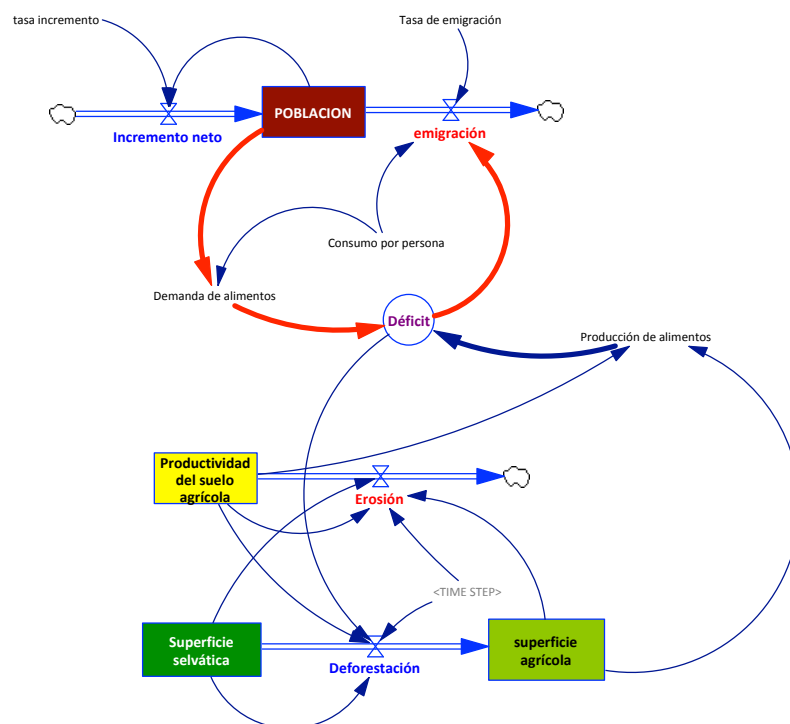
La explicación es la siguiente:

- 1.- La población, si aumenta supone una mayor demanda de alimentos. (+)
- 2.- La mayor demanda de alimentos requiere un incremento de la deforestación para conseguir mayor superficie agrícola. (+)



- 3.- El incremento de la tala de árboles, va reduciendo la superficie selvática (-)
- 4.- La disminución de la superficie de la selva permite que aumente la superficie agrícola, que es su objetivo, para alimentar a cada vez más población, pero...
- 5.- Esa misma disminución, en un entorno edafológicamente frágil como es la selva, va a provocar inexorablemente un incremento de la erosión del suelo. (-)
- 6.- La erosión provoca la disminución de la fertilidad del suelo (-)
- 7.- Y esa disminución de la fertilidad disminuye la producción de alimentos (+)
- 8.- La superficie agrícola, si aumenta, permitirá producir más alimentos. (+)
- 9.- El incremento de la demanda es acorde con lo que se denomina “Gap de alimentos” que es más o menos lo mismo, pero que aquí va a resultar ser lo que marque el destino de los Mayas, ya que a mayor falta de alimento, más se intensificará el hambre y obligará a la población a buscar nuevos territorios.
- 10.- Y sí, el modelo demuestra que inicialmente el sistema permite el crecimiento de la producción y con ello de la población, hasta que algo deja de funcionar y casi de repente el “gap de alimentos” su carencia, llega a tal extremo que la variable emigración se dispara (+), desplo-mando la población a valores críticos para la sostenibilidad de la sociedad. (-).

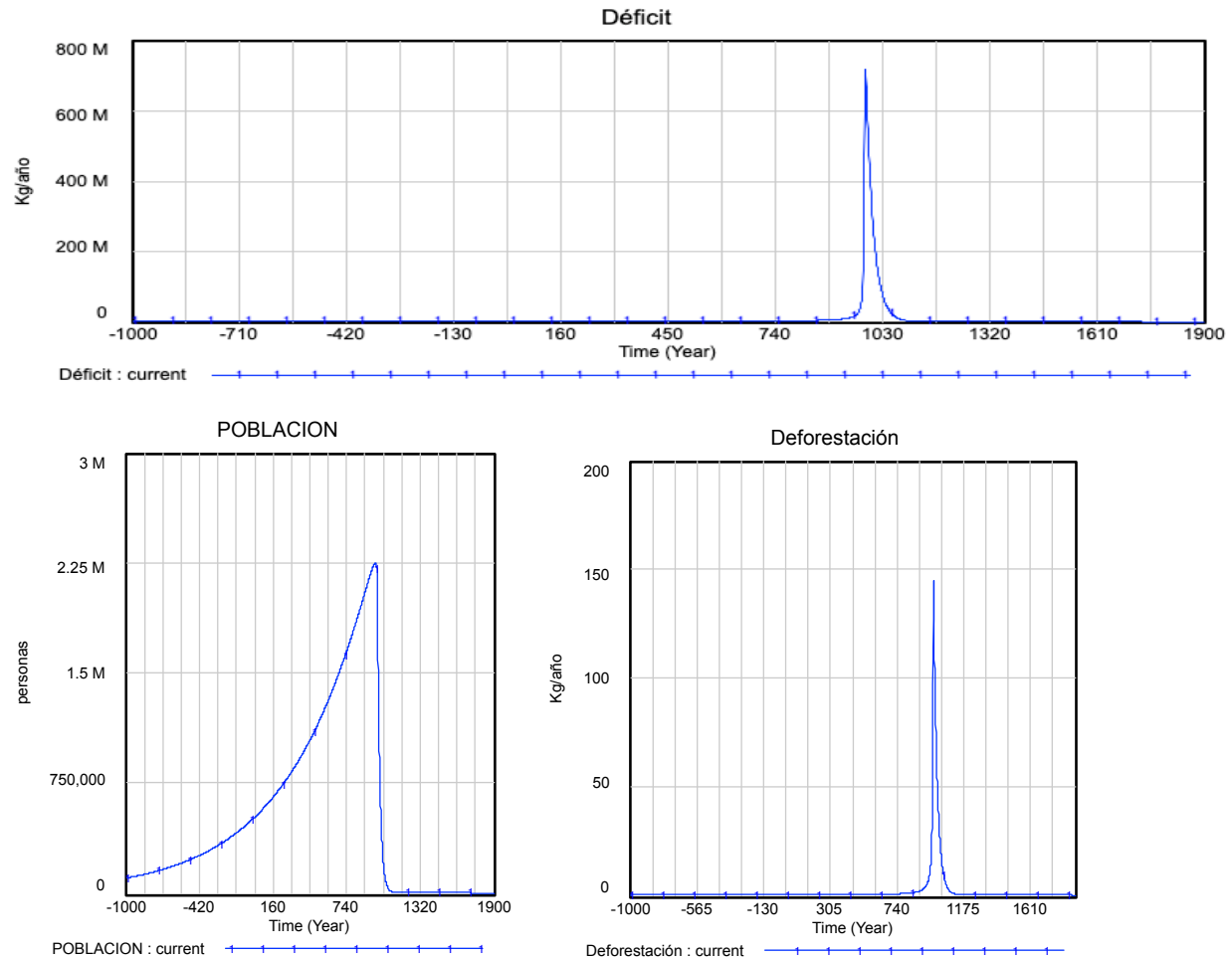
Este diagrama causal, para poder pasar a su expresión matemática, utiliza la simulación DS (Dinámica de Sistemas), transformando el diagrama causal a otro, cuyo gtrasfondo ya tiene conte-nido las funciones matemáticas, que se denomina “Diagrama de Forrester”, en referencia al creador de la técnica, Jay Forrester, científico del MIT.



Con este diagrama, se construyen las diferentes ecuaciones que alimentarán al modelo que, tras su ejecución por el ordenador, expresa como sucedieron los hechos.

Y demuestra que el crecimiento indefinido es, simplemente, una quimera y siempre, siempre, termina en desastre.

El resultado fue el que muestran los gráficos, un crecimiento razonablemente progresivo de la población hasta los albores del Siglo VIII, con una deforestación razonablemente sostenida, pero de repente, en menos de cien años, un disparo absolutamente sin precedentes de la deforestación y un déficit aparejado que eclosionó, de repente.



Este ejemplo de cómo el crecimiento social y económico es una trampa mortal, en estos momentos, en esta sociedad, ya va a hacer estragos de proporciones planetarias.

Y este deletéreo vaticinio, lo dijo por primera vez Jay Forrester en el primer informe al Club de Roma, y Mesarovic y Pestel en el segundo y Denis y Donella Meadows en el tercero y cuarto, hablando ya de sobrepasamiento o punto de no retorno, superado el cual ya no hay nada que hacer.

Ahora nos echamos las manos a la cabeza con el cambio climático, el desarrollo sostenible y demás falacias políticas.

Pero claro son más importantes los índices bursátiles y la cuenta de resultados...