Anuario Jurídico y Económico Escurialense, XXXIX (2006) 725-740 / ISSN: 1133-3677

El siglo decisivo

Julián M. Solana Álvarez
Universidad Autónoma de Madrid

Resumen: Se analiza la evolución histórica de la población mundial y se compara con el modelo de Malthus, resultando que éste es optimista, puesto que la tasa de crecimiento no es constante, sino que ha crecido en los últimos siglos de forma acelerada, lo que obligará a adoptar planteamientos de crecimiento sostenible, si se quiere evitar una grave crisis social a escala mundial.

Abstract: World historical population evolution is analysed and its data compared with Malthus' model, identifying this model as an optimistical one, because the population growth rate is not constant but almost steadily increasing. That is why, maintainable growing measurements must be adopted as soon as possible, in order to avoid important social crisis in a near future.

Palabras claves: Población, Crecimiento, Desarrollo, Exponencial, Progresión geométrica, Desarrollo sostenible, Malthus.

Keywords: Population, Growth, Development, Exponential, Geometrical rate, Maintainable growing, Malthus.

Sumario:

I. Introducción.

II. Matemáticas básicas del crecimiento exponencial.

III. Datos de población.

IV. Cálculos de r y k.

V. Consideraciones histórico económicas sobre las variaciones de k.

VI. Las previsiones de las naciones unidas (ONU).

VII. Conclusiones.

VIII. Bibliografía.

I. Introducción

Leyendo *El universo es una cáscara de nuez*, de Stephen Hawking, entre mecánica cuántica, teorías de la relatividad, cuerdas y branas, en el capítulo 6 (p. 157, al final) dice: *«En los últimos doscientos años, el crecimiento de la población se ha hecho exponencial; es decir, la población crece cada año el mismo porcentaje. Actualmente, la tasa de crecimiento es de 1,9 por ciento anual»*. Posteriormente, en el texto que acompaña la ilustración de la página 159 abunda sobre el tema: *«Hacia el año 2600, la población mundial estará tocándose hombro con hombro, y el consumo de electricidad pondría la tierra al rojo vivo.»*

Ante tan apocalípticas previsiones me he planteado rehacer los cálculos de Hawking (no es que dude de su precisión, simplemente es un deber científico), cuyo planteamiento puede calificarse como más que malthusiano; puesto que la situación expuesta como prevista a alcanzar en 2600 sería la de una tierra totalmente inhabitable.

II. Matemáticas básicas del crecimiento exponencial

La población mundial podría calcularse a partir del establecimiento de la siguiente hipótesis sencilla: «la variación de la población en el tiempo es proporcional a la población». Que puede formularse matemáticamente como la siguiente ecuación diferencial:

$$dp/dt=kp \quad (1)$$

El planteamiento es bastante evidente, cuanto más población haya, tanto más se reproducirá.

La ecuación (1) se debe ordenar de forma distinta para realizar su integración, de forma que quede:

$$dp/p=kdt \quad (2)$$

si «k» es constante e independiente del tiempo, la integración es inmediata y resulta:

$$p\ (t)=p_0e^{k(t-t_0)}\ (3)$$

En el capítulo 2 de *An Essay on the Principle of Population*, T. R. Malthus establece que la población crece en forma de progresión geométrica, de tal modo que se duplica cada 25 años. Esta afirmación permite calcular la razón de dicha progresión geométrica.

Desde un punto de vista matemático no existe más que una sutil diferencia entre el crecimiento exponencial, como el obtenido, y el crecimiento en progresión geométrica. De hecho, un crecimiento en progresión geométrica daría una población p_n al cabo de «n» períodos ($t=t_0+n$) a partir de inicial t_0, con una población p_0 de:

$$p_{n=}p_0r^n\ (r=\text{razón de la progresión})\ (4)$$

Expresión equivalente a la recogida en la fórmula (3) siempre que $r=e^k$. La sutil diferencia, a la que he hecho referencia con anterioridad, está en que la aproximación exponencial se hace con una función continua en el tiempo (puede calcularse para cualquier valor real de t), mientras que la del crecimiento en progresión geométrica es una función discreta, es decir, que sólo se calcula para valores naturales de «n».

También, Malthus afirma que la población se duplica cada 25 años, lo que permite deducir que la razón de crecimiento «r» que estima es igual a la raíz de orden 25 de dos, cuyo valor es r=1,0281, correspondiente a un factor k=0,0277.

Si bien T. R. Malthus en su ensayo sobre la población se refiere a un crecimiento en progresión geométrica, como ya se ha indicado, la fórmula (3) suele admitirse como modelo de crecimiento de la población por los maltusianos, como expone S. Hawking y que, como se ha visto, es equivalente al planteamiento de Malthus. Fórmula a la que se ha criticado argumentando que no tiene en cuenta los efectos de las plagas, guerras, desastres naturales, etc., que atenúan el crecimiento defendido por Malthus.

Es importante recalcar que en la integración se ha hecho la hipótesis inicial de que «k» es constante, en el caso de que fuese una función del tiempo, la integración no se podría haber hecho de la forma indicada y la función (3) sería más compleja, también la progresión geométrica exige que la razón sea constante.

III. Datos de población

Año Población	**Mundial** (miles)
1950	2.519.470
1955	2.757.399
1960	3.023.812
1965	3.337.974
1970	3.696.588
1975	4.073.740
1980	4.442.295
1985	4.843.947
1990	5.279.519
1995	5.692.353
2000	6.085.572
2005	6.464.750
2010	6.842.923
2015	7.219.431
2020	7.577.889
2025	7.905.239
2030	8.199.104
2035	8.463.265
2040	8.701.319
2045	8.907.417

La única forma razonable de verificar que la función de evolución de la población en el tiempo coincide, o al menos se aproxima, a (3) es tomando datos reales y calcular el valor de «k» a partir de ellos.

A este respecto, las Naciones Unidas disponen de estadísticas de población y previsiones de evolución desde 1950 hasta 2050. Los datos disponibles, en miles de habitantes, se recogen en la tabla siguiente [1]:

1. Source: Population Division of the Department of Economic and Social Affairs of the United Nations Secretariat, World Population Prospects: The 2004 Revision and World Urbanization Prospects: http://esa.un.org/unpp

Los datos anteriores podrían desglosarse por continentes e incluso por países, lo que permitirá realizar un cálculo de la evolución de la población de forma individualizada, pudiendo obtenerse una «r» o «k» distinta para cada uno de ellos, identificándose de este modo los que experimentan un mayor crecimiento de la población. Porque resulta evidente que la evolución de la población se produce a distinto ritmos en diferentes regiones geográficas, aspecto al que se volverá posteriormente.

No obstante, un sencillo análisis de los datos anteriores, como el que se resume en la tabla siguiente, resulta muy revelador, en cuanto a la evolución del crecimiento de la población y las previsiones de la ONU para 2050.

Año Población	**Mundial**
Crecimiento (2000/1950)	2,42
Crecimiento (2050/2000)	1,49

Resulta curioso que la ONU prevea una reducción de la tasa de crecimiento de la población mundial para los próximos lustros.

Para realizar una revisión completa de la afirmación de Hawking, expuesta en la introducción, y de la aseveración de Malthus, es necesario:

- prescindir de los datos correspondientes a las previsiones hasta 2050; y
- disponer de datos de años anteriores.

Respecto a esta última necesidad, desde la página web de la Oficina del Censo de los EE.UU, se puede acceder a datos históricos de población mundial desde el año 10.000 aC [2], recopilados de distintas fuentes. De ellos se han seleccionado los correspondientes a la evaluación de la ONU de 1999 para mantener la coherencia con los datos anteriores, resultando:

Año	**1**	**1000**	**1250**	**1500**	**1750**	**1800**	**1850**	**1900**	**1910**	**1920**	**1930**	**1940**	**1950**
UN, 1999 (millones)	300	310	400	500	790	980	1.260	1.650	1.750	1.860	2.070	2.300	2.520

2. http://www.census.gov/ipc/www/worldhis.html

Es necesario que las unidades de medida de la población coincidan, por lo que, tras unas elementales operaciones matemáticas, se obtiene como tabla de datos consolidada:

Año	Población mundial en miles de habitantes
1	300.000
1000	310.000
1250	400.000
1500	500.000
1750	790.000
1800	980.000
1850	1.260.000
1900	1.650.000
1910	1.750.000
1920	1.860.000
1930	2.070.000
1940	2.300.000
1950	2.520.000
1955	2.757.399
1960	3.023.812
1965	3.337.974
1970	3.696.588
1975	4.073.740
1980	4.442.295
1985	4.843.947
1990	5.279.519
1995	5.692.353
2000	6.085.572

Un aspecto importante a tener en cuenta es que los intervalos en los que se dispone de datos de población no son regulares, lo que puede añadir una dificultad adicional a los cálculos. Tampoco hay que olvidar que la fiabilidad de los datos anteriores al siglo XX puede ser bastante escasa debido a la inexistencia de estadísticas; por consiguiente, se trata de datos estimados aproximadamente; de hecho, la Oficina del Censo de EE.UU. informa de diversas fuentes entre las que existen discrepancias.

IV. Cálculos de r y k

La fórmula (4) permite calcular r como la raíz de orden n del cociente entre p y p_0; el logaritmo neperiano de r nos da el valor de k. Aplicando lo anterior a los datos disponibles se obtiene

Año	Población mundial en miles de habitantes	r (razón de la progresión)	k
1	300.000		
1000	310.000	1,000033	3,282E-05
1250	400.000	1,000230	2,303E-04
1500	500.000	1,000341	3,408E-04
1750	790.000	1,000554	5,536E-04
1800	980.000	1,000658	6,580E-04
1850	1.260.000	1,000776	7,761E-04
1900	1.650.000	1,000898	8,977E-04
1910	1.750.000	1,000924	9,238E-04
1920	1.860.000	1,000951	9,508E-04
1930	2.070.000	1,001002	1,001E-03
1940	2.300.000	1,001051	1,050E-03
1950	2.520.000	1,001093	1,092E-03
1955	2.757.399	1,001136	1,135E-03
1960	3.023.812	1,001180	1,179E-03
1965	3.337.974	1,001228	1,227E-03
1970	3.696.588	1,001276	1,275E-03
1975	4.073.740	1,001322	1,321E-03
1980	4.442.295	1,001363	1,362E-03
1985	4.843.947	1,001403	1,402E-03
1990	5.279.519	1,001443	1,442E-03
1995	5.692.353	1,001477	1,476E-03
2000	6.085.572	1,001507	1,506E-03
	Máximo	1,001507	0,001506
	Mínimo	1,000033	0,000033
	Máximo/Mínimo	1,001474	**45,87**

Obsérvese que los valores de r y k obtenidos en el apartado 2 (1,0281 y 0,0277 respectivamente) a partir de la aseveración de Malthus, son muy superiores a los valores que se ha obtenido para r y k de 1800 en la tabla anterior. Evidentemente, Malthus operaba con datos locales de una discutible fiabilidad.

A la vista de los resultados anteriores la conclusión fundamental es «k» (o «r») no es constante, de hecho, crecen de forma continua con el tiempo y su campo de variación es importante en el conjunto de los datos analizados. Por eso, se considera conveniente calcular los valores de «r» y «k» incrementales, entendiendo por tal los valores que se obtendrían si se considerase cada intervalo de tiempo independientemente.

La tabla siguiente recoge los resultados obtenidos:

Año	Población mundial en miles de habitantes	r incremental	k incremental
1	300.000		
1000	310.000	1,000033	3,282E-05
1250	400.000	1,001020	1,020E-03
1500	500.000	1,000893	8,926E-04
1750	790.000	1,001831	1,830E-03
1800	980.000	1,004320	4,310E-03
1850	1.260.000	1,005039	5,026E-03
1900	1.650.000	1,005408	5,393E-03
1910	1.750.000	1,005901	5,884E-03
1920	1.860.000	1,006115	6,096E-03
1930	2.070.000	1,010755	1,070E-02
1940	2.300.000	1,010592	1,054E-02
1950	2.520.000	1,009177	9,135E-03
1955	2.757.399	1,018169	1,801E-02
1960	3.023.812	1,018617	1,845E-02
1965	3.337.974	1,019966	1,977E-02
1970	3.696.588	1,020619	2,041E-02
1975	4.073.740	1,019620	1,943E-02
1980	4.442.295	1,017473	1,732E-02
1985	4.843.947	1,017462	1,731E-02
1990	5.279.519	1,017370	1,722E-02
1995	5.692.353	1,015172	1,506E-02
2000	6.085.572	1,013449	1,336E-02
	Máximo	1,020619	2,041E-02
	Mínimo	1,000033	3,282E-05
	Máximo/Mínimo	1,020585	621,803602

La diferencia de valores que se obtienen es aún más acusada que en el caso anterior, cuando el cálculo se realizó sobre el año 1. Especialmente en los últimos años en los que los datos deberían considerarse más fiables. El crecimiento es continuo hasta 1970 en el que se alcanza el valor máximo, iniciándose un progresivo descenso a continuación.

Desde una perspectiva puramente matemática, pueden distinguirse etapas distintas en el crecimiento de «k»:

1. La primera se extendería hasta 1750-1800, en que la tasa de crecimiento es muy lenta. Por interpolación, puede calcularse como el año 1779 en el que la población mundial alcanza los 900.000.000 de

habitantes, el triple de lo estimado para el año uno; por consiguiente tarda unos 1.700 ó 1.800 años en triplicarse la población mundial.

2. Hacia 1958-1959, la población se vuelve a triplicar, alcanzando los 2.700 millones de habitantes, es decir en menos de doscientos años se ha logrado lo mismo que en los 1.800 años anteriores.

3. En los últimos cuarenta años (1960-2000) la población se ha duplicado, lo que confirma el incremento de «k» conforme avanza el tiempo, si bien a partir de la década de los 70 se produce una reducción de «k».

V. Consideraciones histórico económicas sobre las variaciones de k

Desde la perspectiva de un análisis histórico de los hechos más relevantes en la historia reciente, entendida como tal la correspondiente a la era cristiana, de la humanidad, que hayan tenido una incidencia importante sobre la población, se encuentran únicamente dos de cierta significación:

1. La circunnavegación de África y el descubrimiento de América que, desde el punto de vista económico, entre otras consideraciones, supusieron:

   1.1. Un incremento del comercio internacional.

   1.2. Una inflación producida por el incremento de oro y, especialmente, plata, traída del Nuevo Mundo.

   1.3. Disponer de más tierra cultivable, lo que supone incrementar de forma apreciable un factor de producción fundamental, al menos para la sociedad europea directamente e, indirectamente, para la africana, de la que una fracción fue trasladada de manera forzosa para hacerse cargo de los cultivos en el nuevo mundo.

   1.4. Nuevos productos, como las patatas o el maíz, que diversificaron las posibilidades de alimentación de europeos y americanos que se beneficiaron de un intercambio de cultivos nuevos. En el reverso de la moneda está el intercambio de microbios que diezmó o incluso llevó a la extinción a grupos indígenas americanos.

2. La revolución industrial del siglo XVIII, que ha producido un avance tecnológico en todos los sectores, desde la alimentación hasta la sanidad, pasando por un gran número de disciplinas cien-

tíficas, que han conducido a la sociedad del bienestar que disfrutamos en algunos países del mundo.

Lo anterior indica que intentar resolver el problema de la población mundial empleando sólo una única variable: el tiempo; es una aproximación demasiado sencilla.

Para realizar unos estudios más elaborados sobre la evolución de la población mundial, entre otras alternativas, sería necesario:

– tener en cuenta los índices de natalidad y mortalidad, que se reducen e incrementan, respectivamente, en función del nivel de desarrollo de la zona analizada; por lo que habría que introducir una segunda variable que diese cuenta del nivel de desarrollo (entendido en sentido amplio, es decir, no sólo el desarrollo científico y técnico, sino también la posibilidad de disponer de mayor cantidad de factores de producción) de la población afectada; de forma que, en principio, a un mayor nivel de desarrollo se modificase el valor de «k»;

– añadir otra variable que recoja la región del planeta que se analiza, puesto que la tasa de crecimiento no es la misma en distintas regiones, incluso dentro de un mismo país pueden observarse zonas con tasa de crecimiento muy diferentes; y

– plantear un modelo sistémico que recoja los flujos migratorios de los países más desfavorecidos hacia el primer mundo. Tal como el modelo del mundo desarrollado por Forrester y su equipo del MIT para el Club de Roma, en 1970, sus modificaciones u otros modelos sistémicos posteriores.

VI. Las previsiones de las Naciones Unidas (ONU)

Como se ha visto en el apartado 3 anterior, la ONU ha comprobado que se ha producido una disminución en el factor de crecimiento global desde 1970, lo que le permite ser optimista en su previsión para 2050, de una población mundial de 9.000 millones de habitantes, aproximadamente un 50% superior a la actual.

Sin embargo, el problema es que se ha llegado a la segunda mitad del tablero, en referencia a la famosa leyenda que cuenta como el inventor del ajedrez pidió, a un rey interesado en recibir lecciones de dicho juego, un grano de trigo por el primer escaque, dos por el segundo, cuatro por el tercero, etc. Se trata de una progresión geométrica de razón dos que crece «razonablemente» durante la primera mitad del tablero, es decir hasta 2^{31} = 2.147.483.648; mientras que a

partir de dicho valor, como consecuencia de la magnitud del valor inicial que hay que multiplicar por la razón, cada vez se obtienen cifras más enormes.

A pesar de la reducción de la tasa de crecimiento de la población observado desde 1970, según la ONU, el valor actual de población mundial la sitúa en la «segunda mitad del tablero», lo que no deja de ser un hecho preocupante.

La ONU está desarrollando el «Proyecto del Milenio» con el fin de hacer frente, entre otros, al problema del hambre en el mundo y al desarrollo sostenible. Sin embargo, el problema fundamental que es el de la saturación de la población en un futuro más o menos próximo, está aún pendiente de ser abordado. Es fundamental porque cuanto mayor sea la población, tanto mayores serán los recursos necesarios para alimentarla, la emisión de gases de invernadero y, en consecuencia, el calentamiento global, mayores presiones y agresiones sobre el entorno, etc.

En resumen, cuanto mayor sea la población mundial, tanto más difícil será habitar el planeta, puesto que los recursos biofísicos del mismo son limitados, aún teniendo en cuenta posibles incrementos de producción, debidos a la evolución científica y técnica. La presión sobre el entorno crecerá con realimentación positiva.

Sería interesante evaluar la población de saturación de la tierra (P_s), entendida como el número máximo de personas que pueden subsistir en ella, con una tecnología dada. El cálculo de dicha cifra puede resultar extremadamente complejo, porque la tecnología, aplicación práctica de los conocimientos científicos adquiridos, no es algo estático, sino que evoluciona progresivamente, por lo que el concepto propuesto podría considerarse un tanto artificioso. Téngase en cuenta que el concepto tecnología, tal como se emplea aquí, en sentido amplio, tiene diversos efectos sobre la población, puesto que afecta no sólo al volumen de recursos necesarios para el mantenimiento existencial de la población, sino que también a la vida media de la población, estadístico de gran trascendencia sobre el valor de la misma.

Conocer al menos el límite inferior aproximado del valor de P_s resultaría de gran interés, porque indicaría, de forma inequívoca, la llegada a una situación muy próxima al límite en la población mundial, lo que, posiblemente, despertaría la conciencia ciudadana y movería a los políticos a adoptar medidas sociales encaminadas al control del crecimiento de la población.

VII. Conclusiones

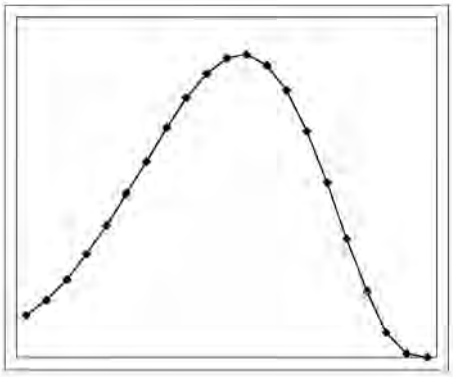
Resulta evidente que el crecimiento de la población mundial empieza a alcanzar valores preocupantes por dos motivos: el propio valor actual de la población y la alta tasa de crecimiento; si bien ésta última se ha reducido ligeramente en las últimas décadas, conforme a los datos de la ONU.

No obstante, no se aprecia una preocupación al respecto por parte de las autoridades políticas. La propia ONU, organismo que está muy interesado en el tema, argumenta que es muy difícil proponer medidas de control por el rechazo de los gobiernos afectados, que considerarían las sugerencias sobre el tema como una intromisión inadmisible en sus asuntos internos.

Por otra parte, en el mundo actual coexisten distintos niveles de desarrollo político en los distintos países, pueden encontrarse países socialmente desarrollados, como sucede con los occidentales y otros que se encuentran al nivel de la edad media, desde el punto de vista social; puesto que mantienen estructuras feudales o tribales.

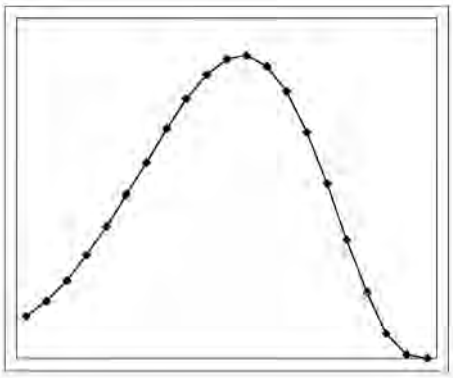
Precisamente estas diferencias de desarrollo social son las que hacen que el problema resulte de solución muy difícil, tal como indica la ONU; puesto que los países menos desarrollados, desde el punto de vista social, es decir, aquellos con regímenes medievales o tribales, tienen muy complicado el evolucionar socialmente porque sus dirigentes son los menos interesados en que su población sea alfabetizada y educada en los valores culturales contemporáneos, que son los que hacen que se reduzca la tasa de natalidad y, en consecuencia, se atenúe el problema de la superpoblación en el mundo.

Figura 1



Sería muy triste un mundo que fuese equivalente a la isla descrita por Papini en Gog; pero esa alternativa no es una solución estable, según la mayoría de los modelos sistémicos desarrollados, que prevén la extinción en breve plazo de la población (véase la figura 1, en ella el eje de abscisas corresponde al tiempo y el de ordenadas a la población), si continua el crecimiento «exponencial» que, como se ha visto resulta moderado cuando se compara con los datos reales.

FIGURA 2



No obstante, los modelos sistémicos indicados, en general, señalan la crisis del máximo hacia el año 2100, a partir de dicha fecha predicen el colapso de la población, salvo que se adopten medidas de crecimiento sostenible en diversos ámbitos tales como consumo, contaminación, ecología, etc., lo que se conoce desde 1970, sin que se haya hecho mucho al respecto en los 35 años transcurridos desde entonces.

Sin embargo, incluso si se alcanzase el valor máximo, no es posible predecir el futuro a partir de él, puesto que podría obtenerse una respuesta oscilante, como sucede en algunos sistemas físicos, alrededor de un valor de equilibrio, como se muestra en la figura 2 (los ejes tienen el mismo significado que en la figura 1). Incluso en este caso, menos dramático que el de la extinción, es previsible una catástrofe de población de dimensiones impresionantes, puesto que la disminución de la población mundial sería muy apreciable en un plazo de tiempo no demasiado dilatado.

Resulta imprescindible que se adopten medidas de crecimiento sostenible de forma inmediata si queremos que nuestros nietos dispongan,

no sólo de una calidad de vida aceptable, sino de alguna probabilidad de supervivencia.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

COHEN, J. E., «Tendencias demográficas», *Investigación y Ciencia*, noviembre 2005, pp. 10-17.

HAWKING, S., *El universo es una cáscara de nuez*, Ed. Círculo de lectores, 2002

MALTHUS, T. R., *An Essay on the Principle of Population*, puede encontrarse en:
http://socserv2.socsci.mcmaster.ca/~econ/ugcm/malthus/popu.txt

PAPPINI, G., «Gog», puede encontrarse el texto en:
http://www.ciudadseva.com/textos/novela/gog.htm