

## **APÉNDICE I**



# ¿Declinación inminente de la producción petrolera mexicana? Una aplicación del modelo de M. K. Hubbert<sup>1</sup>

«Todas las cosas tienen su fin y período y, cuando han alcanzado su punto superlativo, se encuentran abajo arruinadas, ya que no pueden permanecer largo tiempo en tal estado »

*François Rabelais<sup>2</sup>*

Este apéndice tiene por objetivo presentar un enfoque crítico de diagnósticos que han sido efectuados sobre la evolución futura de la producción mexicana. Se tomará como ejemplo de éstos el efectuado por R. C. Duncan [1996], justo después de la crisis de 1994-1995. Su principal conclusión es la declinación inminente de esa producción, la cual debería tener múltiples implicaciones para México<sup>3</sup>. Tomando en cuenta que el método aplicado por este autor se apoya en el modelo de M. K. Hubbert, en primer lugar se presentará ese modelo.

## 1. El modelo de M. K. Hubbert

**El modelo de Hubbert** es una técnica de predicción del ciclo de producción de recursos energéticos no renovables, tales como el petróleo y el gas natural. Un interés particular del modelo es que evita la utilización de datos sobre las reservas, los cuales son a menudo poco confiables. Depende, sin embargo, fuertemente de la disponibilidad de datos sobre las actividades de exploración y de producción a lo largo de varios años. Para este ejercicio se pudieron reconstituir las cifras de producción de petróleo en México, a partir de 1901 y, sobre esa base, se efectuó la aplicación del modelo al caso mexicano.

El modelo de Hubbert se basa en una ley simple concerniente a la tecnología de los recursos naturales que F. K. North expresa de la manera siguiente: «El ciclo completo de producción de cualquier recurso no renovable, en cualquier región o en el mundo entero, comienza con una producción que sube de cero hacia un máximo; puede haber varios máximos separados por declinaciones temporales; pero finalmente el ciclo se completa con una declinación larga y continúa hacia cero, vía la exponencial negativa»<sup>4</sup>.

---

<sup>1</sup> Los trabajos de M. K. Hubbert se encuentran en la bibliografía general. Para esta presentación se han utilizado los artículos de R. C. Duncan [VII-1994 y 1996]. Con este autor, así como con P. Criqui del IEPE/CNRS, D. Fouadé y R. Caillet del GAMMAP de la Universidad de Grenoble y con Jérôme Frossard, de la ENSIMAG se efectuaron intercambios acerca del modelo de M. K. Hubbert y de su aplicación a México. No se tomaron en cuenta todas las interesantes sugerencias recibidas y soy el único responsable de la presentación final en la que mi propósito fue realizar una presentación simplificada del modelo con fines meramente ilustrativos.

<sup>2</sup> "Ont toutes choses leur fin et période, et, quand elles sont venues à leur point superlatif, elles sont en bas ruinées, car elles ne peuvent longtemps en tel état demeurer », citado en *Conjoncture*, No. 3, 26º año, París, marzo de 1996.

<sup>3</sup> Sobre este punto es útil referirse al Capítulo VI (Sección 3, § 2) de este trabajo.

<sup>4</sup> F. K. North [1985], *Petroleum Technology*, Allen and Unwin, Boston; citado en R. C. Duncan [1996; p.6]

## 2. Modelización matemática

- En una primera aproximación se supone que la producción acumulada es exponencial durante los primeros años de la explotación. Se llega al siguiente modelo:  $\frac{dQ}{dt} = aQ$ ; en donde:
  - $Q$  es la **producción acumulada** (en miles de millones de barriles por ejemplo);
  - $\frac{dQ}{dt}$  es la **producción de petróleo en un período determinado** (en millones de barriles por día, por ejemplo).

Hubbert introduce una declinación de la producción a partir de cierta fecha. De ello resulta la **ecuación de Hubbert**:

$$\frac{dQ}{dt} = aQ - bQ^2$$

- El modelo no puede estar completo sin las condiciones en los límites:
  - En el estado inicial, no existe aún producción: cuando  $Q = 0$ , entonces  $\frac{dQ}{dt} = 0$ .
  - En el estado final, la producción vuelve a caer en cero: cuando  $Q = Q_{\infty}$ , entonces  $\frac{dQ}{dt} = 0$ .
- El conjunto de esa modelización constituye el modelo de Hubbert. Fácilmente se deducen las constantes  $a$  y  $b$  de las condiciones en los límites:

$$\frac{dQ}{dt} = aQ - \frac{a}{Q_{\infty}} Q^2.$$

## 3. Aplicación del modelo a un país

- La primera etapa es la representación gráfica de la producción en función de la producción acumulada  $Q$ .
- Una propiedad notable del modelo de Hubbert permite hacer enseguida una regresión lineal. En efecto, dividiendo la ecuación  $\frac{dQ}{dt}$  de arriba por  $Q$ , se obtiene una relación lineal entre  $\frac{dt}{Q}$  y  $Q$ . Es

decir:  $\frac{dQ}{dt} = a - \frac{a}{Q_\infty} Q$ . Se trata de una recta de pendiente  $-\frac{a}{Q_\infty}$  y

de ordenada al origen  $a$ . Se realiza la regresión lineal sobre un período que parte de una fecha de inicio, escogida con base en las observaciones, hasta la fecha final de las observaciones. Se

puede en particular trazar  $\frac{dQ}{dt}$  en función de  $Q$ .

- Después de haber obtenido los parámetros de la regresión lineal, se obtiene una parábola sobre la representación gráfica  $\frac{dQ}{dt}$  en función.
- Es posible igualmente obtener la evolución de la producción  $\frac{dQ}{dt}$  en función del tiempo. La resolución de la ecuación diferencial da el resultado siguiente:

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{aQ_\infty N_s e^{-at}}{(1 + N_s e^{-at})^2}$$

- En donde  $Q_s$  es la producción acumulada en el año del inicio de la regresión,  $N_s = \frac{Q_\infty - Q_s}{Q_s}$  y  $t$  es igual al año considerado menos el año del inicio de la regresión.

#### 4. Observaciones sobre los resultados obtenidos para México (referirse a los cuadros y gráficas anexas):

- El modelo se aplica muy bien cuando se inicia la regresión en 1981 (regresión de 1981 a 1996). La nube de puntos es muy lineal y se obtiene una parábola que parece adecuada. Cuando se observa la evolución en función del tiempo, se constata que el modelo prevé una declinación inminente de la producción. Fue sobre esta parte de la curva que R. C. Duncan focalizó su análisis para sacar sus principales conclusiones<sup>5</sup>. Se trata de un período situado después del boom petrolero de 1978-1981, el cual fue seguido por caídas drásticas en las inversiones. Después

<sup>5</sup> R. C. Duncan [VII-1996]. En una carta al Presidente Clinton, fechada el 31 de enero de 1995, R. C. Duncan afirmaba que México: "... pronto se convertirá en un importador neto de petróleo crudo. (...) mis cálculos muestran que la producción de petróleo mexicano se encuentra cercana ahora a su pico más alto de todos los tiempos y situada en una pendiente y una caída persistente [...] De hecho predigo que la producción petrolera mexicana empezará a caer bruscamente en menos de dos años".

de 1982 y hasta 1995 la producción permanecerá estancada y las reservas de hidrocarburos experimentarán una fuerte baja. Después de 1995 las inversiones se han recuperado, lo cual se ha reflejado inmediatamente sobre el nivel de la producción y de las exportaciones. La declinación de la producción parece pues, alejarse en el tiempo, en relación con las previsiones del modelo.

- Si se intenta aplicar el modelo a otros períodos, el modelo pierde en linealidad. Las regresiones de 1901 a 1996 y de 1938 a 1996 no dan resultados interesantes o interpretables.

En cambio, una regresión sobre el período 1973 a 1996 es más interesante y modela un poco mejor la realidad; aun si la nube de puntos es menos lineal que antes: se obtiene una parábola conveniente y la evolución de la producción muestra que el pico para México estaría más lejos en el tiempo. Ese pico sería igualmente más elevado, cuando la tendencia actual se orienta más bien hacia el estancamiento.

- Finalmente, se puede aplicar también el modelo sobre otro período histórico, es decir, el primer pico de producción en los años veinte. La situación real es idéntica a la evolución futura de la producción prevista por el modelo (prácticamente se encontró de nuevo en cero antes de la nacionalización). Si se considera el período de 1901 a 1937 y se hace una regresión sobre ese período, la nube de puntos es muy lineal, como en el primer caso (1981 a 1996); la parábola es casi perfecta y la evolución en el tiempo de la producción prevista con el modelo es exacta, a pesar de existir un desfase (una suerte de retraso en las previsiones);
- En conclusión, la aplicación que hace R. C. Duncan del modelo de Hubbert no parece dar resultados satisfactorios en el caso de México, ya que la aparición de un pico en la producción se ve retrasada sin cesar a lo largo del tiempo.

La aplicación del modelo en el período 1901-1937, el cual comporta un pico de producción y enseguida una caída que tiende hacia cero, da buenos resultados; pero éstos no tienen nada que ver con aquello para lo cual fue hecho el modelo. Esos fenómenos no constituyen un ciclo de vida de la producción, sino que reflejan las evoluciones que fueron estudiadas en el Capítulo I. En efecto, frente a la decisión del gobierno mexicano de aplicar las disposiciones constitucionales respecto a la propiedad y a la soberanía sobre los recursos, las compañías petroleras pararon sus inversiones y buscaron retirarse de México.

R. C. Duncan, situándose en un enfoque puramente fenomenológico, es decir, viendo solamente la evolución de algunas variables sin buscar

verdaderamente nociones y relaciones explicativas, reproduce los mismos errores de las compañías petroleras durante los años veinte, cuando previeron la declinación de la producción mexicana.

Por otra parte, la aplicación que hace R. C. Duncan del modelo de M. K. Hubbert no aborda cuestiones geológicas importantes. Los únicos factores geológicos que se toman en cuenta son las condiciones en los límites (producción inicial y final = 0). Ignora, en particular, la cuestión de los recursos recuperables. Además de tomar en cuenta de manera más completa los factores geológicos, una consideración de factores económicos, tecnológicos e institucionales es indispensable. Esos factores están presentes en la evolución reciente y se reflejaron en una recuperación de la producción y de cierta medida de las reservas después de las caídas de los años 1980 y de la primera mitad de esta década (Cf. Capítulo IV).

Las debilidades del análisis de R. C. Duncan no están necesariamente ligadas a la curva de M. K. Hubbert, sino más bien de una aplicación fenomenológica de esta curva. Para superar ese enfoque, es necesario tener una discusión sobre los recursos recuperables, es decir, sobre el petróleo *in situ* al cual se le debe aplicar tasas de recuperación adecuadas. Si se sigue esta vía, el panorama cambia radicalmente. *Grosso modo*, cuando un país ha producido la mitad de los recursos que se encuentran *in situ* la producción acumulada comenzará a declinar con seguridad. Siguiendo a R. C. Duncan, ya que él consideraba en 1995 que la producción mexicana había alcanzado el pico más elevado de la curva y que había iniciado una declinación irreversible, los recursos recuperables deberían elevarse a cerca de 45 mil millones de barriles (la producción acumulada era ese año de 22 mil millones). Ahora bien, Charles D. Masters<sup>6</sup> consideraba que en 1994 la cifra para México de «ultimate resources» equivalía a 93.4 de mil millones de barriles. En esta perspectiva, la producción mexicana acumulada total, lejos de tener que declinar los próximos años, podría elevarse a más de tres veces la producción acumulada desde 1901 hasta la fecha, es decir, habría recorrido solamente la tercera parte de su ciclo. Si Ch. D. Masters está en lo cierto, la industria petrolera en México debería aún poder producir tres veces más de lo que ha producido desde sus inicios. La cuestión merece ser profundizada.

Es inevitable, sin embargo, que la producción baje algún día a causa del agotamiento de las reservas de hidrocarburos y, en consecuencia, es útil intentar prever esa evolución. Por lo demás, si se observa la evolución histórica de la producción en función de la producción acumulada, la baja parece corresponder para México a una evolución de tipo logarítmico y no a una recta. Quizás un modelo elaborado a partir de esta constatación sería más adaptado.

---

<sup>6</sup> Charles D. Masters *et al.* [VII-1994].

## **ANEXO DEL APÉNDICE I**

Los CUADROS, GRÁFICAS y FIGURAS tienen una numeración propia, relacionada con cada uno de los anexos. La distinción entre GRÁFICAS y FIGURAS consiste en que las primeras han sido construidas con base en la información estadística que aparece en los CUADROS, mientras que las FIGURAS han sido reproducidas de los trabajos que en ellos se citan.