Balladurette y *Juppette:* un análisis discreto de los subsidios al reemplazo[1, 2]

Jérôme Adda
University College London
Institut Nacional de la Recherche Agronomique

Russell Cooper
Boston University
National Bureau of Economic Research

Resumen

Este artículo estudia el efecto de los subsidios en mercados de bienes duraderos. En particular, se analiza una reciente política adoptada en Francia en la que los gobiernos de Balladur y Juppé subvencionaron el reemplazo de coches viejos por nuevos. Para estudiar esta política, se construye un modelo de elección discreta dinámico y estocástico para modelar el reemplazo de coches a nivel del hogar. Se utilizan las reglas de decisión resultantes y las condiciones de equilibrio para estimar los parámetros subyacentes del modelo utilizando datos agregados. Además, se usan las funciones de política resultantes para valorar los efectos a corto y largo plazo de las políticas francesas. Se encuentra que estas políticas estimulan al sector del automóvil en el corto plazo, pero, a través los cambios introducidos en la distribución cross-section de la edad de los coches, crean las bases para una posterior reducción de la actividad. Además, mientras que estas políticas aumentan los ingresos gubernamentales en el corto plazo, en el largo plazo los ingresos son menores en comparación con una situación sin intervención.

Palabras clave: *consumo de duraderos, evaluación de política, subsidios al reemplazo.*
Clasificación JEL: *E62, E65, E21.*

---

[1] Traducción al español de «Balladurette and Jupette: A Discrete Analysis of Scraping Subsidies», *Journal of Political Economy* (2000), 108, 4, 778-806, permiso número 004953466. Traducción a cargo de Iria Fernández de Ana y revisión a cargo de Antonio R. Sampayo. Los coordinadores y el editor agradecen la gentileza de los autores y de University of Chicago Press por permitirnos reproducir el mencionado artículo. University of Chicago Press no tiene ninguna responsabilidad sobra la traducción al español.

[2] Cooper agradece a la *National Science Foundation* la ayuda financiera recibida. Ambos autores agradecen el apoyo financiero del *D. P. Ministère des Finances*. Además, quieren mostrar su gratitud a F. Laurel, J. L. Madre y al *D. P. Ministère des Finances* porque les han proporcionado algunos de los datos; a Joao Ejarque y Jon Willis, sus ayudantes de investigación en este proyecto; a Franck Portier por ayudarles a empezar el proyecto; y a Dan Ackerberg, Susantu Basu, Paul Beaudry, Olivier Blanchard, Martin Browning Jan Eberly, Simon Gilchrist, Lars Hansen, Sam Kortum, Omar Licandro, Michel Riordan, Jon Willis, y a un revisor anónimo, por sus comentarios y sugerencias. Quieren mencionar a los participantes en la conferencia celebrada en París en enero de 1996 con el título *Should We Rebuild Built-in Stabilizers?*, el *NBER Summer Institute* de 1996; la Universidad de Boston, la Universidad Estatal de Michigan, el Instituto Tecnológico de Massachussets, la Universidad de Michigan, FEDEA, la Universidad Carlos III, el Instituto Nacional de Estadística y de Estudios Económicos, el *University College London,* la Universidad de Toulouse, el congreso *Economic Fluctuations* celebrado en el NBER en 1997, la Universidad de Nueva York, y el congreso europeo de la *Econometric Society* celebrado en 1997. De todos ellos han recibido comentarios muy útiles.

Abstract

This paper studies the effects of subsidies on durable goods markets. In particular, we focus on a recent policy in France in which the governments of Balladur and Juppé subsidized the replacement of old cars with new ones. To study this policy, we construct a dynamic stochastic discrete choice model of car ownership at the household level. The resulting decision rules and equilibrium conditions are used to estimate the underlying parameters of the model using aggregate data. These policy functions are used to evaluate the short- and longrun effects of the French policies. We find that these policies do stimulate the automobile sector in the short run but, through the induced changes in the cross-sectional distribution of car ages, create the basis for subsequent low activity. Further, while these policies in crease government revenues in the short run, revenues in the long run are lower relative to a baseline without intervention.

Keywords: *durable consumption, policy evaluation, scrapping subsidies.*
JEL classification: *E62, E65, E21.*

1. Introducción

Este artículo investiga los efectos de los subsidios en las compras de bienes duraderos. En los últimos años, ciertos países, especialmente Francia, Italia y España, han introducido subsidios para quienes se deshacen de coches viejos *y* compran otros nuevos en su lugar. Una de las motivaciones de estas ayudas es la de promover el empleo y las exportaciones en el sector del automóvil. Nuestro objetivo en este trabajo es el de entender los efectos de estas políticas sobre la producción y las finanzas públicas.

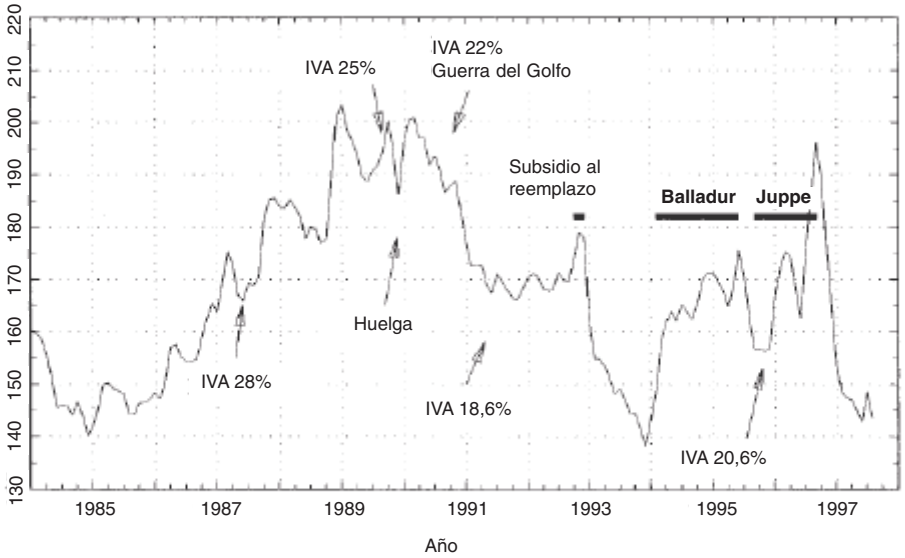
La Figura 1 muestra, para Francia, las matriculaciones mensuales de coches nuevos (ajustadas estacionalmente), desde 1984 hasta agosto de 1997. En la figura se señala una serie de cambios claves en las políticas aplicables al sector. Incluyen cambios en el impuesto sobre el valor añadido (IVA) aplicable a la compra de automóviles nuevos, como en 1987, 1989 y 1991. Adicionalmente, desde el 1 de octubre hasta el 31 de diciembre de 1992, el gobierno ofreció a los consumidores 2.000 francos por cada adquisición de un coche nuevo que sustituyese a uno viejo. La política tenía una motivación fundamentalmente ambiental destinada a sustituir los vehículos viejos altamente contaminantes por otros nuevos, menos contaminantes.

Desde febrero de 1994 hasta junio de 1995, el gobierno ofreció a los compradores un pago de 5.000 francos por desguazar un coche viejo (de 10 años o más) y comprar uno nuevo en su lugar. Esta es una subvención de cuantía considerable dado que el precio medio de un coche nuevo en Francia es aproximadamente igual a 80.000 francos. En la Figura 1 vemos que esta política, denominada la reforma de Balladur, tuvo el efecto deseado de estimular la venta de coches nuevos.

En septiembre de 1995, el gobierno de Juppè anunció una subvención al desguace de automóviles por importe de 5.000 francos para coches de tamaño pequeño y 7.000 francos para los de mayor tamaño durante un año, hasta el 30 de septiembre de 1996. La medida exigía que el coche tuviese al menos 8 años para poder acceder a la subvención. Debemos tener en cuenta que la política de Juppè, comparada con la reforma Balladur, subvencionaba la renovación de coches de una edad menor.

FIGURA 1

VENTAS DE COCHES NUEVOS, EN MILES, MENSUALES, AJUSTADAS ESTACIONALMENTE



Esto refleja quizá la percepción de que la reforma de Balladur había generado un stock de coches relativamente nuevos, y por lo tanto era necesario el cambio en la edad crítica del coche para que la política tuviese un efecto importante.

Para entender los efectos de estas políticas, analizamos un modelo de elección discreta a nivel individual. Asumimos que los agentes poseen un coche sobre el que toman una decisión discreta: cambiar el coche por otro diferente, desecharlo o mantenerlo. Esta decisión estará, por supuesto, influenciada por la existencia de políticas impositivas tales como los subsidios al reemplazo usados en Francia, Italia y España, así como por la edad del coche y otras variables relevantes (precio, valor de desguace, riqueza, ingresos, etc.).

La agregación de los comportamientos individuales determina la demanda del mercado. En general esta agregación requiere conocer las distribuciones *cross-section* de la riqueza, los ingresos y la edad de los coches en circulación. Por lo tanto, los cambios en la demanda de automóviles son debidos, bien a variaciones en las decisiones de adquisición a nivel individual, bien a la evolución de las distribuciones *cross-section*.

Se adopta este enfoque por las siguientes razones: en primer lugar, creemos que es intuitivamente plausible considerar las adquisiciones de bienes duraderos a nivel individual como elecciones discretas. Lam (1991) y Bar-Ilan y Blinder (1992) ofrecen una serie de argumentos con los que defienden el uso modelos que se fundamentan en ajustes discretos a nivel microeconómico. Utilizando datos microeconó-

micos para los Estados Unidos, Lam comprobó que, a menudo, las familias no adquieren coches. Estos periodos de pasividad a nivel microeconómico son inconsistentes con las implicaciones de un modelo de agente representativo con costes de ajuste convexos, y constituyen el fundamento para un análisis de elección discreta como el adoptado en este artículo.

En segundo lugar, tal y como han sugerido una serie de trabajos recientes, los cambios en la distribución *cross-section* de la edad de los coches en circulación, pueden tener una influencia importante en la actividad económica de ese sector. Como en Caballero (1993), la interacción entre la elección discreta a nivel microeconómico y la evolución de la distribución *cross-section* podría explicar la evolución temporal de las compras de bienes duraderos. En Francia e Italia, los incrementos a corto plazo en la producción de la industria automovilística, causados por la introducción de subvenciones al desguace, fueron pronto seguidos por reducciones severas en las ventas de vehículos en los periodos subsiguientes a la eliminación de las políticas en cuestión. Como veremos más adelante, esta respuesta a una subvención temporal refleja parcialmente los cambios en la distribución *cross-section* de la edad de los coches en uso.

En la sección 2 presentamos un modelo simple, poniendo énfasis en el problema de optimización individual. Bajo el supuesto de que los agentes están en las mismas condiciones salvo por la edad del vehículo que poseen, encontramos un sistema de precios que vacía los mercados para coches nuevos y usados, y caracterizamos la política de renovación óptima. También desarrollamos un ejemplo simple para ilustrar el modelo y su respuesta cualitativa a variaciones en los subsidios al desguace.

La evidencia empírica está resumida en la sección 3, incluyendo los datos sobre ventas y la evidencia sobre la distribución por edades del parque de automóviles en circulación. Utilizando esta información, la sección 4 presenta las estimaciones del modelo de elección discreta[3].

Nuestra estrategia de estimación comienza con el problema de optimización dinámico y estocástico de un individuo en el que hay incertidumbre respecto a precios, ingresos y preferencias. Este es un problema con mayor estructura que el presentado en la sección 2, ya que nuestra intención es la de confrontarlo con los datos. Iterando en la función de valor, caracterizamos la función de política a nivel individual y, usando la evolución de la distribución por edades de los coches en circulación, obtenemos una serie temporal simulada de las ventas agregadas de automóviles. La estimación de los parámetros microeconómicos proporciona la serie temporal de ventas de automóviles en el modelo simulado, de manera que los momentos de la distribución estén lo más próximos que sea posible a sus equivalentes muestrales.

---

[3] Al igual que en RUST (1987), la estimación se basa por completo en un problema de reemplazo dinámico, aunque, como en CABALLERO y ENGEL (1993), se usan datos agregados. Evidencia adicional puede encontrarse en EBERLY (1994) y ATTANASIO (1995).

Finalmente, la sección 5 utiliza las estimaciones para analizar los efectos de los subsidios al desguace. En teoría, políticas como la de la reforma Balladur, que subvenciona el reemplazo de coches viejos, opera a través de la edad óptima de desguace. Por lo tanto, los efectos iniciales de estas políticas dependen de la proporción de coches cuya edad es mayor que la (nueva) edad óptima de desguace. Los efectos posteriores reflejan la evolución de la distribución del stock de coches por edades. Que la política creará un incentivo para renovar los coches viejos es evidente. La razón de realizar el análisis es la de cuantificar, tanto el alcance del incentivo inmediato a reemplazar el coche, como el posterior efecto de esta política en las ventas, conforme evoluciona la distribución por edades del stock de coches en circulación.

Se encuentra que estas políticas van a incrementar las ventas en el corto plazo pero, al mismo tiempo, generan movimientos en la distribución de la edad de los coches, lo que origina efectos importantes a largo plazo. En particular, los aumentos en la actividad del sector asociados a subsidios temporales al desguace son de corta duración: la producción de automóviles se reduce considerablemente en periodos futuros.

Además, cuando se introducen las subvenciones, los ingresos del gobierno caen con respecto a una situación sin intervención. La teoría es ambigua en este punto: dado que el gobierno recauda IVA sobre las ventas de los coches nuevos, es posible que los ingresos totales del gobierno crezcan cuando éste subvencione la renovación. Los resultados indican que las nuevas ventas de coches inducidas por la política de renovación no son suficientes para contrarrestar los menores ingresos impositivos netos por cada coche vendido.

2. Comportamiento individual y equilibrio

Esta sección muestra una versión simplificada de nuestro modelo dinámico de elección discreta. A pesar de que es necesario usar una versión más complicada para la estimación, el modelo básico es útil para proporcionar una idea intuitiva en torno a las decisiones óptimas de desguace.

A. Optimización individual

Consideremos un individuo con un ingreso seguro y en cada periodo de su vida. El agente obtiene utilidad de los servicios que le da un bien duradero (s) y del consumo de un bien (el numerario) no duradero (C), con preferencias representadas por $U(C, s) = C + s$[4]. El individuo vive infinitos periodos y maximiza el flujo descontado de utilidad con un factor de descuento $\beta > 1$. Cada agente puede llegar a tener como

[4] La utilidad lineal en el numerario reproduce un entorno en el que los agentes pueden prestar y pedir prestado para «suavizar» el consumo. La sección 5 añade curvatura a este problema y estudia el papel de las restricciones a pedir prestado.

máximo una unidad de bien duradero en cada momento de tiempo. Diferentes generaciones del bien duradero están disponibles en el mercado: sea i el índice para denotar la generación (equivalentemente la edad) a la que pertenece el bien. Un coche nuevo tiene edad 1. El flujo de servicios de un bien duradero de edad i viene dado por s_i. Asumimos que si $i > j$, entonces $s_i < s_j$: El flujo de servicios de un bien disminuye con la edad. Esto se debe a la depreciación del bien duradero. También puede representar el incremento del coste de mantenimiento de los vehículos más viejos. Los bienes duraderos de edad i son vendidos a un precio p_i. El individuo es precio aceptante en el mercado. Además, en este análisis inicial no hay incertidumbre.

Sea V_i el valor (es decir, el flujo de utilidad descontado) de un agente que, al principio de un periodo dado, posee un coche de antigüedad o edad i, para i mayor o igual a cero. La ecuación de Bellman, que se verifica para todo i, es

$$V_i = \max \left[\max_{k \geq 1} (s_k - p_k + y + p_i + \beta V_{k+1}),\ y + p_i + \beta V_0 \right] \tag{1}$$

Aquí V_0 representa el valor de no tener coche de manera que $s_0 = p_0 = 0$.

En la ecuación (1), el agente es propietario de un coche de edad i, que puede vender a precio p_i para comprar un coche de edad k a precio p_k. Esto le generará un ingreso neto y por lo tanto, un consumo de bien no duradero igual a $y + p_i - p_k$, y un flujo de servicios s_k proveniente del bien duradero que ha comprado. Todo esto sucede en un periodo dado. Además el agente comienza el siguiente periodo como propietario de un bien duradero de edad $k + 1$ y reoptimiza.

El agente puede además optar por vender el coche sin haber comprado uno nuevo, la segunda opción en (1). Esta elección genera un consumo de $y + p_i$ y V_0 en el siguiente periodo. Sin embargo, en tanto que exista un excedente positivo asociado a la posesión de coches, esta estrategia estará dominada por la de comprar un coche nuevo inmediatamente.

Una opción final del agente es la de desguazar el coche y recibir un valor de desguace de $\pi \geq 0$ independientemente de la generación a la que pertenece el coche. Esto se tiene en cuenta permitiendo a p_i denotar el precio de mercado de un coche de edad i independientemente de su uso (desguace o servicio de transporte) por el nuevo propietario. Además de consumidores, suponemos que hay empresas competitivas en el mercado ofreciendo nuevos productos ($i = 1$). Por simplicidad asumimos que hay rendimientos constantes a escala en la producción de coches con un coste unitario igual a c, que, en un mercado competitivo, es igual al precio de un coche nuevo, p_i[5].

[5] Este supuesto de costes medios constantes implica que las variaciones en la demanda no generarán movimientos en el precio y por lo tanto simplifica el análisis del equilibrio. Además, en contraste con algunos trabajos recientes, como BERRY, LEVINSOHN y PAKES (1995), no consideramos una estructura de productos diferenciados en la que las empresas tienen poder de mercado. Pero nuestro análisis se podría aplicar a este contexto si los *mark ups* son constantes.

B. Equilibrio

El equilibrio está caracterizado por un precio para cada edad del bien duradero y una función de política contingente en el estado para los agentes individuales, de tal forma que los individuos optimizan y los mercados de cada generación del producto se vacían. Como los agentes son idénticos, nos centramos en analizar un equilibrio en el cual el único mercado activo es el de bienes nuevos. Es decir, en equilibrio, los agentes pueden elegir entre mantener su automóvil o renovarlo reemplazándolo por uno nuevo y desguazando el viejo. Nótese que esto no es realmente tan restrictivo: la indiferencia de los agentes es consistente con el resultado según el cual coches de diferentes edades son intercambiados. En nuestro análisis, el punto clave no es el intercambio de coches usados, sino la toma de decisión de desguazar el coche viejo y reemplazarlo por uno nuevo.

Con esto en mente, si el agente puede o bien mantener el coche o desguazarlo y recibir π, la función de valor viene dada por

$$V_i = \max\,(s_i + y + \beta V_{i+1},\, s_1 + y + \pi - c + \beta V_2) \tag{2}$$

Por lo que, o bien el agente disfruta del flujo de servicios de un coche de edad i y del valor de uno de edad $i + 1$ en el próximo periodo, o desguaza el coche y compra uno nuevo a coste c. Implícitamente estamos asumiendo un equilibrio no trivial; esto es, poseer un coche tiene valor y por lo tanto el desguace va acompañado de la compra de un coche nuevo.

Para caracterizar un equilibrio sin intercambio, conjeturamos una función para el precio dada por

$$p_i = s_i + \beta(V_{i+1} - V_0) - z \tag{3}$$

En esta expresión, la constante z se determina en equilibrio y mide el excedente que se deriva de la posesión de un automóvil. Esta función de precios expresa el precio de un bien de edad i como función de un flujo de servicios y el valor descontado del bien mañana, cuando tenga edad $i + 1$, en relación con el valor de no tener ningún bien duradero.

La función para precio dada en (3) y los valores dados en (1) son interdependientes. Resolviendo estas dos ecuaciones simultáneamente, utilizando el valor de desguace π, caracterizamos un equilibrio sin intercambio. De paso, calculamos la edad crítica de un coche, denotada por J, tal que el desguace es óptimo para $i \geq J$.

PROPOSICIÓN 1. A los valores y precios dados por (1) y (3), los individuos están indiferentes entre mantener su coche de edad $i \leq J$ y cambiarlo por otro[6].

[6] Todas las proposiciones se prueban en el apéndice.

La principal implicación de esta proposición es que los mercados de coches de edades intermedias se vaciarán sin que exista ningún intercambio. En adelante estudiaremos el problema óptimo de desguace que resulta de (2) independientemente de los precios de los bienes de edades intermedias. Desde esta perspectiva, el sistema de precios dado en (3) simplemente fundamenta la restricción de no intercambio encontrada en el problema de renovación óptima. Aunque no hay venta de coches usados, las predicciones de precios del modelo pueden ser utilizadas bien para la estimación o para la evaluación del modelo.

Para que exista un mercado activo de coches, el precio de éstos debe ser lo suficientemente bajo. Esto se establece formalmente en la proposición 2.

PROPOSICIÓN 2: Si c es lo suficientemente bajo, existe un equilibrio con un mercado activo para coches nuevos.

En equilibrio, valores y precios decrecen de forma monótona con la edad del automóvil.

PROPOSICIÓN 3: $V_j > V_{j+1}$ y $p_j > p_{j+1}$.

Con este resultado, estamos claramente ante un problema de «parada óptima» en el que hay una edad crítica (ignoramos la restricción impuesta por el hecho de que la edad sea un número entero) de forma que el coche es desguazado a esa edad y no antes.

PROPOSICIÓN 4: Existe un J tal que el bien duradero es desguazado a la edad J.

El resultado se deriva de forma casi inmediata de la proposición 3 y de la ecuación (2). De la proposición 3, tanto s_i como V_{i+1} son decrecientes en i, lo cual implica que el valor de retener el automóvil es claramente decreciente con la edad del coche. Esto es, el primer término del lado derecho de (2) es decreciente en i. En cambio, el segundo término es independiente de i. Por lo tanto existe una edad de desguace crítica.

Juntas, estas proposiciones implican que el equilibrio de este mercado está descrito por un ciclo determinístico de reemplazo. El comportamiento individual está completamente descrito por una función de riesgo, $h(i)$, que proporciona la probabilidad de reemplazar un coche de edad i. Por lo tanto, como función de la edad, la función de riesgo es cero hasta la edad J y uno para valores mayores de la edad[7].

[7] Esto es similar al ciclo de reemplazo de máquinas que aparece en COOPER y HALTIWANGER (1993) y en COOPER, HALTIWANGER y POWER (1999). Es también evidente que la política óptima es de tipo (S, s) con una barrera, aunque se encuentra más conveniente usar el lenguaje de las funciones de riesgo.

Por supuesto, la edad de desguace óptima dependerá tanto de los parámetros del problema como del coste soportado al comprar un nuevo producto (c), como del valor de un producto desguazado (π). En este modelo no estocástico, (2) implica que la edad óptima de desguace sólo depende del coste neto de un coche nuevo, $c - \pi$. En el modelo estocástico estudiado más adelante, en la medida en que el coste del automóvil nuevo y el valor de deguace tienen propiedades estocásticas diferentes, la función de política no es tan simple como para depender solamente de la diferencia entre estas dos variables.

C. Implicaciones agregadas

Las implicaciones que problema de elección discreta a nivel individual tiene para las magnitudes agregadas en el mercado, se derivan de la interacción de la función de riesgo y la distribución *cross-section* de la edad de los coches en uso ($G_t(i)$), la cual mide la proporción de coches de edad i en el periodo t. Con estas herramientas, podemos caracterizar las ventas agregadas de coches en el periodo t como sigue:

$$S_t = \sum_{i=1}^{\infty} h(i)G_t(i) \tag{4}$$

En este modelo simple en el que no hay perturbaciones agregadas, la trayectoria temporal de las ventas viene determinada únicamente por la evolución de la distribución *cross-section*.

Este punto es importante para el análisis empírico ya que los parámetros de nuestro modelo van a ser estimados utilizando datos agregados. El nexo entre los parámetros del modelo y los datos agregados viene dado por (4) puesto que la función de riesgo está determinada directamente por los parámetros de interés.

D. Un ejemplo

Para ilustrar el funcionamiento del modelo y para generar cierta intuición sobre los posteriores ejercicios de política, consideramos un simple ejemplo en el que todos los coches de edad 3 son desguazados (antes de su uso). Con esta conjetura sobre la edad óptima de desguace,

$$\begin{aligned} V_1 &= s_1 + y + \beta V_2 \\ V_2 &= s_2 + y + \beta V_3 \\ V_3 &= \pi - c + \beta V_1 \end{aligned} \tag{5}$$

Claramente esta es una estructura recursiva simple, y las tres incógnitas pueden

ser halladas utilizando los datos primitivos (y, c, π, β, s_1, s_2, s_3). Esto proporciona los valores de equilibrio para las tres generaciones de coches, $i = 1, 2, 3$. Para garantizar que esto es un equilibrio, necesitamos determinar que (i) poseer coche es deseable, (ii) es óptimo desguazar los coches de edad 3, y (iii) que los mercados de coches usados están en equilibrio.

A partir de la solución de (5), deducimos que la posesión de un coche es deseable si y sólo si

$$s_1 + \beta s_2 + \beta^2 \pi \geq c \tag{6}$$

Esta condición es bastante intuitiva ya que el lado izquierdo es el valor de poseer un coche durante dos periodos y desguazarlo al principio del tercer periodo. Esta ganancia la comparamos con coste de un coche nuevo, c. Por lo tanto, al igual que en la proposición 2, un mercado de coches activo requiere un c bajo. Para ver que $J = 3$ es la edad optima de desguace, necesitamos comprobar que los coches de edad 2 no serán desechados y que los coches de edad tres no deben ser retenidos. Tras efectuar cálculos, esto se reduce a

$$s_2 \geq \frac{1}{1+\beta}(\pi - c + s_1 + \beta s_2) \geq s_3 \tag{7}$$

Dado que asumimos que s_i esta decreciendo en i, la condición requiere que el coste neto de un coche nuevo ($c - \pi$) sea lo suficientemente grande para que los agentes quieran mantener un coche de edad 2 pero desechar uno de edad 3. Evidentemente esta condición se satisface si el flujo de servicios que genera un coche de edad tres es lo suficientemente bajo.

Finalmente, podemos usar (3) para construir los precios de equilibrio para el equilibrio sin intercambio. Nuestro supuesto de mercados competitivos implica que $p_1 = c$. Entonces, el precio para los coches de edad 2 queda simplemente determinado por la sustitución de los valores de equilibrio V_2 y V_0 en (3). El valor de z es determinado en este proceso.

Este simple ejemplo es útil para hacernos una idea de la respuesta de las decisiones de adquisición de automóviles ante variaciones en, por ejemplo, el valor de desguace. A partir de la construcción del equilibrio, podemos ver claramente que las variaciones en el valor de desguace afectarán a las decisiones de desguazar coches, si y sólo si el cambio en el valor de desguace afecta a la edad óptima de desguace.

Supongamos que π decrece pero no lo suficiente como para alterar las desigualdades en (7). Entonces, mientras que los valores asociados con la posesión de coches (y por lo tanto los precios correspondientes a un equilibrio sin intercambio) cambian, las decisiones de desguace del automóvil no cambian. Sin embargo, si el decrecimiento de π es lo suficientemente grande, entonces la edad óptima de desguace aumentará y será entonces cuando las decisiones de reemplazo se verán afectadas.

Utilizando (4), podemos tener una idea de los efectos que un cambio grande en el valor de desguace tendrá sobre las ventas de coches. Supongamos que, antes del cambio de política, el mercado se encontrase en un equilibrio en el que la mitad de los coches fuesen de edad 1 y el resto de edad 2. Ahora supongamos que la reducción del valor de desguace es tal que la edad óptima de desguace sea $J = 4$. En el primer periodo de esta (supuesta) política permanente, la venta de coches será nula ya que no hay coches de edad 3! Después de eso, la mitad de los coches serán desguazados y las ventas de coches nuevos volverán a su valor anterior. Sin embargo, el bajón en las ventas reaparecerá cada tres años. Este ejemplo muestra como la distribución *cross-section* de la edad del stock de coches y la función de riesgo, interactúan para determinar la serie temporal de ventas de coches, incluyendo los ciclos de reemplazo.

E. Confrontando el modelo con los datos

La discusión previa destaca ciertos componentes clave de las decisiones individuales de reemplazo y sus implicaciones agregadas. Nuestro objetivo en este artículo es usar esta estructura dinámica de elección discreta para analizar el impacto de las políticas francesas de subsidios. Mientras que el ejemplo puede mostrar ciertas propiedades del equilibrio, el modelo presentado hasta ahora es demasiado simple para confrontar sus predicciones con los datos.

En particular, no hay más fuentes de fluctuación en la venta de coches que la evolución de la distribución *cross-section* de la edad del stock de coches. Por tanto parece necesario añadir perturbaciones agregadas a los precios o a los ingresos o a ambos, con el fin de replicar las fluctuaciones en las ventas de coches observadas en la Figura 1. Además, no hay perturbaciones idiosincráticas sobre los ingresos o incluso sobre las preferencias, que parecen importantes para reproducir la heterogeneidad en la adquisición de automóviles. Finalmente, no existe destrucción accidental de coches, como puede ser el caso cuando ocurren accidentes y averías.

Todos estos ingredientes serán agregados al modelo simplificado para proceder a su estimación y al análisis de la política. Aún así, la caracterización de la función de riesgo dependiente del estado y su interacción con la distribución *cross-section* en la determinación de las ventas de coches nuevos, seguirá siendo un punto clave del análisis. Con estos elementos en mente, regresamos en primer lugar a su descripción en los datos franceses y después a la estimación de un modelo más completo.

3. Evidencia empírica

A. Datos agregados

La Figura 1 muestra la serie temporal de ventas de coches nuevos (mensual, ajustada estacionalmente, en miles) en Francia entre 1984 y agosto de 1997. Los

datos fueron recolectados por el *Institut National de la Statistique et des Études Économiques* (INSEE), el instituto de estadística francés. Los datos muestran los grandes movimientos observados en las ventas de automóviles durante este periodo. Estos movimientos se debieron parcialmente a las numerosas políticas que, por un lado alteraron el coste de los automóviles nuevos, y por otro introdujeron variaciones agregadas adicionales, tal como la recensión en Francia en 1992–93.

El INSEE también elaboró mediante encuestas a los hogares, la distribución *cross-section* de los coches en Francia, con periodicidad anual para el periodo 1972-95. Estos datos se muestran en la Figura 2, que indica, para cada año, el porcentaje de coches de cada edad.

Hay dos aspectos a tener en cuenta en la distribución *cross-section*. En primer lugar, muestra variaciones importantes en la distribución a lo largo del tiempo. En el contexto de nuestro modelo, eso representa una importante fuente de variación en la demanda de coches por parte de los consumidores. A lo largo del periodo muestral, tanto la edad media como la proporción de coches de menos de 5 años de edad experimentan variaciones significantes.

En segundo lugar, es posible percibir la forma en que los grandes movimientos en las ventas influyen en la distribución por edades de los coches a lo largo del tiempo. Por ejemplo, vemos grandes reducciones en las ventas en 1975 y en 1985-86, lo que en la Figura 2 aparece como un valle en la evolución de la distribución. Asimismo, los efectos transversales de la «explosión» de las ventas en 1989 pueden ser también observados en la Figura 2. La «explosión» en las ventas nos lleva a un incremento en la proporción de coches de menos de 5 años y a una reducción en la edad media de los automóviles.

La distribución de la edad puede también usarse para recuperar la verdadera función de riesgo para cada año[8]. Sea $H_t(i)$ la probabilidad de que un coche de edad i sea renovado en el periodo t, esto es, la función de riesgo empírico en el periodo t. Denotemos como $G_t(i)$ la proporción de coches de edad i en el periodo t. Entonces, la función de riesgo y la distribución *cross-section* para el periodo t están relacionadas a través de la siguiente ecuación:

$$G_{t+1} = [1 - H_t(i)]G_t(t) \tag{8}$$

La Figura 3 muestra la media de la función de riesgo para el periodo de 1972-96. Podemos ver que aumenta hasta llegar al 15 por 100 a la edad 10 y al 25 por 100 a edad 15.

[8] Aquí, sin embargo, uno debe ser cuidadoso porque la distribución de la edad del parque de automóviles está calculada como la proporción de coches de cada edad, pero el número total de coches cambia cada año. Si corregimos la función de riesgo para tener en cuenta los cambios en el número total de coches, los resultados que obtenemos son parecidos. Véase GAUTIER y ROUCHET (1995) para un análisis más detallado de las funciones de supervivencia para los coches franceses.

FIGURA 2
DISTRIBUCIÓN *CROSS-SECTION* DE LOS COCHES EN FRANCIA

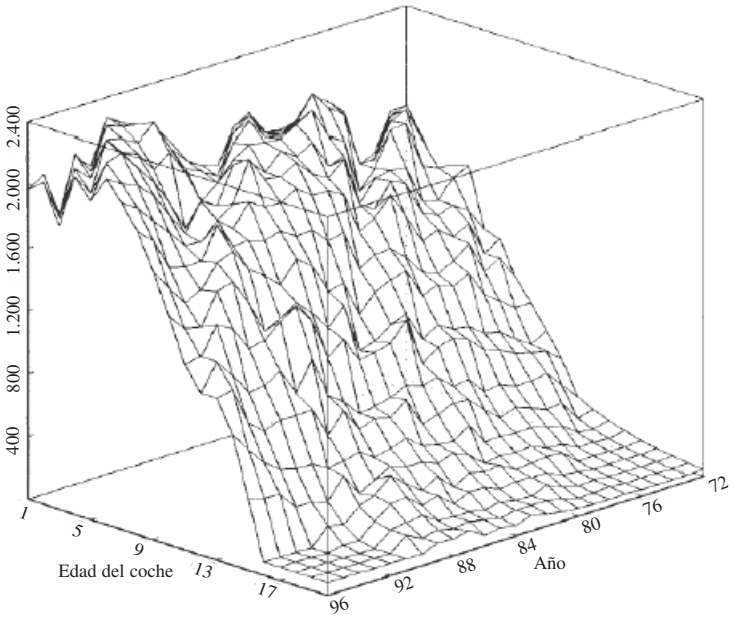
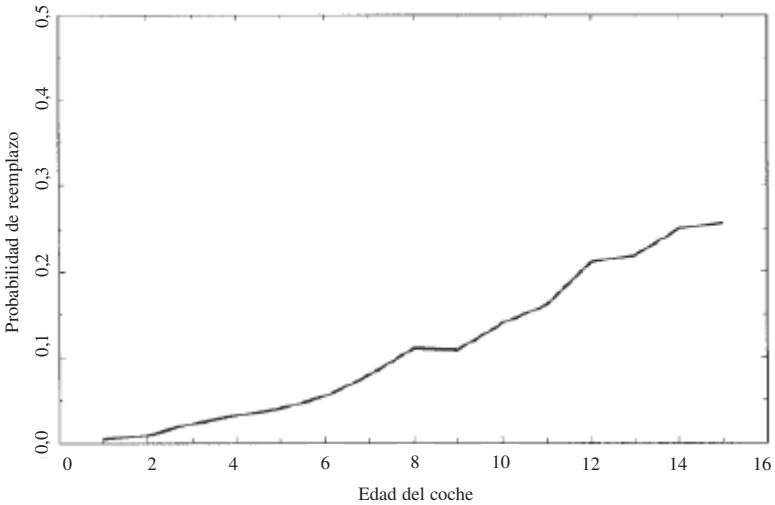


FIGURA 3
FUNCIÓN DE AZAR OBSERVADA PROMEDIO



B. Datos micro

Los datos micro proceden de la *Enquête de Conjoncture auprès des Ménages* francesa elaborada por el INSEE. Son datos de corte transversal que se obtuvieron a través de encuestas a más de 6.000 hogares por año entre 1972 y 1994. Contienen información de la edad de los automóviles, las fechas de adquisición, los modelos de coche y precios, además de información referente a los ingresos de cada individuo y a la estructura demográfica. Los datos tienen una estructura de panel parcial ya que, desde 1977 hasta 1987, ofrecen la información de los hogares durante dos años consecutivos.

Aproximadamente el 20 por 100 de los hogares renuevan sus coches cada año. Y de los que reemplazan el coche viejo, el 45 por 100 compran uno nuevo. El porcentaje de hogares que compran un automóvil usado de una edad determinada no supera el 7 por 100, y disminuye con la edad del coche. Esta información se obtuvo de la muestra agrupada para el periodo 1977-87. Para aquellos que venden el coche, no existe una edad clara a la que los hogares venden su automóvil, al menos para la muestra agrupada. El pico se encuentra entre los 3 y los 7 años de edad del coche.

Como primer intento de modelar la adquisición de automóviles, estimamos una regresión probit del reemplazo del automóvil utilizando los datos micro[9]. Relacionamos el reemplazo con la edad del coche, la edad al cuadrado, los ingresos de los hogares, los ingresos al cuadrado, así como con una serie de variables ficticias para coches nuevos de bajo precio, cruzadas con el tipo de coche poseído. Las variables de control incluyen las variables ficticias según el tipo de coche, la edad del cabeza de familia, el número de hijos, el número de miembros del hogar que trabajan, el nivel educativo y variables ficticias para el año. El precio de coches desguazados no está en el conjunto de variables de control ya que no es una información disponible en los datos.

Los resultados se presentan en la Tabla 1. La probabilidad de reemplazo crece significativamente con la edad del coche y con los ingresos del hogar. Un precio bajo también es un determinante de la adquisición de un automóvil. Como se muestra en la Tabla 1, un precio bajo tiene un efecto positivo en la probabilidad de reemplazar el coche, excepto cuando consideramos los precios de coches grandes.

Estos resultados apoyan nuestro modelo, pues tanto la edad como el precio son importantes en el problema de reemplazo de un coche. En particular, la probabilidad de reemplazar el coche es una función creciente de la edad. Habitualmente las familias prefieren comprar un coche nuevo antes que uno usado. Además, los resultados también indican que el ingreso influye de forma importante en la decisión de reemplazar el coche. En consecuencia, el modelo desarrollado más adelante incorpora variaciones en el ingreso.

[9] Estrictamente hablando, aquí reemplazo significa la venta del coche. Pero las compras de coches de una edad mayor que 5 años solamente representan el 20 por 100 del total de compras: la mayor parte de las ventas parecen estar acompañadas de compra de coche nuevo.

TABLA 1
MODELO PROBIT PARA REEMPLAZAR UN COCHE

Variable	Valor estimado	Estadístico *t*
Constante	–1,747	–12,23
Edad del coche	0,099	15,13
Edad al cuadrado	–0,0022	–6,04
Ingreso	0,1465	4,24
Ingreso al cuadrado	–0,00367	–1,35
Precio bajo S/S	0,332	2,76
Precio bajo S/M	0,455	3,7
Precio bajo S/L	0,2077	1,6
Precio bajo M/S	0,2251	2,09
Precio bajo M/M	0,3894	3,52
Precio bajo M/L	0,086	0,73
Precio bajo L/S	–0,9699	–7,94
Precio bajo L/M	–1,105	–8,82
Precio bajo L/L	–0,6468	–4,88

NOTA: Entre las variables explicativas se incluyen también variables ficticias para el año, así como variables ficticias para controlar el efecto de la edad del coche, la edad del cabeza de familia, el tamaño del hogar y el número de miembros activos del hogar. Precio bajo *i/j* es la variable ficticia para un coche nuevo de tipo *i* de precio bajo poseyendo un coche de tipo *j*, donde *i*, *j* representan (coche de tamaño) pequeño, medio y grande.

4. Estimación

Para el ejercicio de evaluación del impacto de las políticas de incentivo al desguace de automóviles, un análisis empírico menos estructural (como en el análisis probit hecho anteriormente) es inadecuado, ya que no hay ningún precedente para estas políticas. Por lo tanto, nuestra forma de proceder consiste en estimar los parámetros estructurales del modelo, utilizando datos anteriores a la entrada en vigor de las políticas. Con los parámetros así estimados, es factible un análisis de las políticas en cuestión.

A. Visión panorámica de la estrategia general de estimación

El punto de partida de la estimación es el de caracterizar el entorno económico subyacente (preferencias, tecnología, procesos estocásticos exógenos, etc.) por medio de un vector de parámetros denotado por $\boldsymbol{\theta}$.

Para un valor dado de $\boldsymbol{\theta}$, resolvemos el problema de programación dinámica a nivel individual. Agregando los comportamientos heterogéneos de los individuos, podemos generar predicciones para las variables simuladas que pueden ser confron-

tadas con las variables observadas en el mercado. A continuación buscamos los parámetros del modelo que acercan lo más posible las series simuladas a los datos observados.

B. Especificación de un modelo completamente estocástico

Para realizar este seguimiento resolvemos una versión estocástica del problema descrito en la sección 2, iterando en la función de valor. Modificamos aquel modelo básico en diferentes aspectos. Primero, suponemos que el precio del coche nuevo (c) y los ingresos agregados (Y) son variables estocásticas. Segundo, los individuos están sujetos a una perturbación idiosincrática independiente e idénticamente distribuida (y) y a una perturbación común en las preferencias (ε) (inobservable para el econometra). Interpretamos la perturbación idiosincrática como una perturbación en el ingreso.

Por lo tanto, el ingreso total es la suma de un shock agregado y otro idiosincrático. Tercero, el problema de programación dinámica incluye la probabilidad exógena (δ) de que ocurra un accidente de coche o una avería. Denominamos z al vector de variables de estado de un individuo que, eventualmente, podría incluir variables agregadas (precios, ingresos, valores de desguace) así como shocks idiosincráticos en las preferencias y en los ingresos.

De cara a aproximar la función de riesgo, es importante incluir estos factores en el modelo: la probabilidad positiva de que se dé una avería en el coche implica una función de riesgo distinta de cero para todas las edades, y los shocks idiosincráticos generan una función de riesgo creciente para todas las edades. El shock común en las preferencias permite tener en cuenta en el modelo cualquier movimiento agregado en ventas que no puede ser explicado por el precio, ingresos o movimientos en la distribución. La inclusión de un shock agregado no observable es habitual en estos modelos, como se puede ver en Rust (1987).

En particular, asumimos que la utilidad de un coche de edad i y el consumo de bienes no duraderos (C) viene dada por

$$u(i, C, \varepsilon) = i^{-\gamma} + \lambda\varepsilon \frac{C^{1-\zeta}}{1-\zeta},$$

donde ε es un shock independiente e idénticamente distribuido, común para todos los individuos en la economía que afecta a la elección intertemporal entre el flujo de servicios del coche y el bien de consumo, y λ es un factor de escala. Con estas preferencias, el valor de poseer un coche de edad i, dado el vector de variables de estado z, viene dado por

$$V(i, z) = \max\ [V^K(i, z), V^R(i, z)]$$

donde $V^K(i, z)$ es el valor de retener un coche de edad i y $V^R(i, z)$ es el valor de reemplazo dado que el estado es z. Estos valores vienen dados por

$$\begin{aligned} V^K(i, z) &= u(i, Y + y, \varepsilon) + \beta(1 - \delta)EV(i + 1, z') \\ &\quad \beta\delta E[V(1, z') + u(1, Y' + y' + \pi - c', \varepsilon') - u(1, Y' + y', \varepsilon')] \\ V^R(i, z) &= u(1, Y + y + \pi - c, \varepsilon) + \beta(1 - \delta)EV(2, z') \\ &\quad \beta\delta E[V(1, z') + u(1, Y' + y' + \pi - c', \varepsilon') - u(1, Y' + y', \varepsilon')] \end{aligned} \tag{9}$$

Aquí la esperanza se calcula sobre z' condicional en z.

En la primera opción de este problema, el individuo opta por quedarse con el coche de edad i y tiene una utilidad de $u(i, Y + y, \varepsilon)$. Aquí imponemos la restricción presupuestaria de que todo ingreso es usado para pagar el consumo de bienes no duraderos. Con probabilidad $1 - \delta$ el coche sobrevive un periodo más, y el individuo tiene un coche de edad $i + 1$ en el estado z'. Con probabilidad δ el coche se avería al final del periodo actual por lo que el individuo desguaza el coche de edad i y compra uno nuevo en el periodo siguiente. En la segunda opción, el agente desguaza un coche de edad i y compra uno nuevo en el periodo actual. Este coche, o bien tendrá edad 2 en el próximo periodo o bien se avería y es reemplazado. Nótese que en la especificación del problema, asumimos que los coches que se averían son reemplazados: en cualquier estado, hay un excedente positivo derivado de la posesión de un coche[10].

Nuestra especificación del problema de optimización asume que todos los ingresos corrientes son gastados o en un coche nuevo o en bienes no duraderos. Esto significa que el problema asume que los individuos ni prestan ni toman prestado. Esta restricción para prestar o tomar prestado contrasta con el modelo de la sección 2, en la que el supuesto de utilidad lineal implicaba que los individuos no tenían interés en «suavizar» el consumo de bienes no duraderos. En el análisis empírico que desarrollamos a continuación, estudiaremos las implicaciones de un modelo restrictivo con utilidad lineal de tal forma que la imposibilidad de tomar prestado es irrelevante[11].

Por lo tanto, esta especificación con una utilidad estrictamente cóncava confiere importancia a las variaciones en los ingresos en un entorno con restricciones de crédito severas. Además, en el lado derecho de (9) vemos que la incompletitud de mercados implica que hay un coste adicional en la elección de desguazar/adquirir:

---

[10] Además, aun siendo cierto que las diferencias entre los agentes en preferencias e ingresos motivarían la existencia de intercambio en este mercado, se ha eliminado el mercado de coches usados. Esta restricción se ha impuesto por tratabilidad. Véase STOLYAROV (1998), donde se desarrolla un problema relacionado que analiza el mercado de camiones usados.

[11] Un modelo intermedio con curvatura en la función de utilidad de bienes no duraderos y mercado de capitales perfecto, va más allá del objetivo de este artículo, pues añadiría una variable de estado adicional al análisis. GROSSMAN y LAROQUE (1990) proveen los fundamentos para un análisis con riqueza cuando el stock de bienes duraderos es continuo. Véase CARROLL y DUNN (1997) para un análisis reciente de la vivienda.

$u(1, Y + y - c + \pi, \varepsilon) - u(1, Y + y, \varepsilon)$. Esto puede ser entendido como una fuente de irreversibilidad que depende de la curvatura de la función de utilidad.

Para resolver el problema de optimización del individuo debemos especificar un proceso estocástico para el ingreso y el precio, y también debemos especificar los shocks agregados sobre las preferencias. Asumimos que el ingreso agregado, precios y el shock no observable sobre las preferencias siguen un proceso VAR(1) dado por

$$\begin{aligned} Y_t &= \mu_Y + \rho_{YY} Y_{t-1} + \rho_{Yc} c_{t-1} + u_{Yt} \\ c_t &= \mu_c + \rho_{cY} Y_{t-1} + \rho_{cc} c_{t-1} + u_{ct} \\ \varepsilon_t &= \mu_\varepsilon + \rho_{\varepsilon Y} Y_{t-1} + \rho_{\varepsilon c} c_{t-1} + u_{\varepsilon t} \end{aligned}$$

La matriz de covarianzas de las innovaciones $u = \{u_{Yt}, u_{ct}, u_{\varepsilon t}\}$ es

$$\Omega = \begin{bmatrix} \omega_Y & \omega_{Yc} & 0 \\ \omega_{cY} & \omega_c & 0 \\ 0 & 0 & \omega_\varepsilon \end{bmatrix}$$

Como el shock agregado sobre las preferencias no es observable, imponemos una estructura diagonal por bloques en el vector autorregresivo de manera que, con una simple regresión en una etapa, podemos identificar todos los parámetros que tienen que ver con los precios y con los ingresos agregados. Esto reduce considerablemente el número de parámetros a estimar en el modelo estructural. Permitimos a los precios e ingresos depender de los precios e ingresos pasados. El shock agregado sobre preferencias depende eventualmente de los precios y de los ingresos pasados. Permitiendo una correlación positiva entre el shock agregado de preferencias y los precios, podemos reconciliar el modelo con el hecho de que las ventas y los precios están positivamente correlacionados en los datos.

Asumimos una función de producción con rendimientos constantes a escala[12]. Esto implica que los precios son independientes de los movimientos de la demanda, incluyendo aquellos inducidos por la evolución de la distribución de la edad de los coches. Sin esta restricción, nuestra estimación requeriría la inclusión de la distribución en el espacio de variables de estado del problema de optimización del individuo. Por lo tanto el supuesto de rendimientos constantes a escala hace nuestro problema mucho más manejable. Para apoyar este supuesto, encontramos que el añadir momentos retardados de la distribución no ayuda en la predicción de los precios.

[12] BERRY *et al.* (1995) también asumen rendimientos constantes a escala en la estimación inicial de su modelo, aunque en su análisis posterior presentan alguna evidencia en favor de rendimientos crecientes a escala en la producción de automóviles.

Suponemos que el shock idiosincrático en el ingreso y, está independiente e idénticamente distribuido siguiendo una distribución lognormal, escalada de forma que su media es cero. Denotamos su varianza como σ_y. Dado que, en el caso lineal, los shocks en el ingreso no importan, cuando estimamos el modelo imponiendo linealidad, redefinimos el shock idiosincrático como un shock sobre las preferencias intertemporales.

Al igual que en el modelo simplificado de la sección 2, la solución al programa dinámico del individuo es una edad óptima de reemplazo contingente en el estado, denotada por $J_{\boldsymbol{\theta}}(z_t)$. La función de riesgo a nivel individual, $h_{\boldsymbol{\theta}}(i, z_t)$, es una función escalonada de z_t y de la edad del coche: $h_{\boldsymbol{\theta}}(i, z_t) = \delta$ si $i < J_{\boldsymbol{\theta}}(z_t)$ y $h_{\boldsymbol{\theta}}(i, z_t) = 1$ si $i \geq J_{\boldsymbol{\theta}}(z_t)$.

Con el fin de agregar, promediamos sobre los componentes idiosincráticos del vector de estado, dando lugar a una función de riesgo que depende del ingreso agregado, de los precios, de las variaciones agregadas en las preferencias y de la edad del coche, y la denotamos por $h_{\boldsymbol{\theta}}(i, \boldsymbol{Z}_t)$, donde $\boldsymbol{Z}_t$ denota las componentes de z_t comunes a todos los agentes. Mientras la función de riesgo a nivel individual es simplemente una función escalonada, al agregar sobre los individuos tendremos una función creciente con la edad del coche: conforme la edad aumenta, aumenta la proporción de individuos cuyo shock idiosincrático les induce al desguace.

Sea $G_t(i)$ el número de coches de edad i en el periodo t. La evolución de las ventas agregadas (S_t) y la distribución *cross-section* de los coches es:

$$S_t = S_{\boldsymbol{\theta}}(\boldsymbol{Z}_t) = \sum_{i=1}^{\infty} h_{\boldsymbol{\theta}}(i, \boldsymbol{Z}_i) G_t(i)$$

$$G_{t+1}(1) = S_t$$

$$G_{t+1}(i+1) = [1 - h_{\boldsymbol{\theta}}(i, \boldsymbol{Z}_i) G_t(i) \quad \text{si} \quad i \neq 1$$

A través de este planteamiento, tenemos un nexo entre el vector de parámetros $\boldsymbol{\theta}$ y las variables agregadas observables: las ventas y la distribución *cross-section*. Llevamos a cabo la estimación buscando el vector de parámetros que minimiza la distancia entre las variables agregadas simuladas y sus equivalentes observables. A continuación retornamos a la descripción del procedimiento.

C. Estrategia de estimación

Para disminuir el número de parámetros en la estimación estructural, estimamos en un primer paso los parámetros que describen el proceso conjunto del ingreso agregado y los precios. El resto de parámetros son $\boldsymbol{\theta} = \{\gamma, \delta, \lambda, \zeta, \sigma_y, \rho_{\varepsilon Y}, \rho_{\varepsilon c}, \omega_\varepsilon\}$.

Una estrategia de estimación natural es la de encontrar los parámetros que acercan el modelo simulado lo más posible a los datos. En nuestra estimación utilizamos las observaciones sobre ventas y los momentos de la distribución *cross-section* para

identificar los parámetros que caracterizan el problema de programación dinámica[13]. Antes de realizar la estimación, hemos extraído una tendencia lineal a las series de precio, ingresos y de ventas ya que el modelo no tiene tendencias.

Dado un vector de parámetros $\boldsymbol{\theta}$ y una realización para la senda de shocks de preferencias ε, el modelo puede predecir las ventas agregadas. La estimación es condicional en el ingreso agregado y en los precios en cada periodo, así como en la distribución *cross-section* inicial.

Los momentos de la distribución *cross-section* que queremos aproximar son los porcentajes medios (para el periodo muestral 1972-92) de coches de edades 5, 10 y 15.

La idea es usar estas edades críticas para caracterizar la distribución *cross-section* media. El criterio a minimizar, a través del algoritmo simplex, es la media ponderada de las diferencias entre las ventas observadas y las predichas, y entre los momentos observados y los simulados de la distribución *cross-section* de edades de coches.

Formalmente, sean S_t las ventas anuales agregadas del año t. Y sean $S_t(\boldsymbol{\theta}) = S(Y_t, c_t, \varepsilon_{t,n}, \boldsymbol{\theta})$ las ventas predichas para el año t y para la realización n-ésima del shock agregado no observable ($n = \{1, \ldots, N\}$). En esencia, el método de estimación minimiza la distancia al cuadrado entre S_t y una medida media (sobre los shocks en preferencias) de

$$\bar{S}_t(\boldsymbol{\theta}) = \sum_n \frac{S_{t,n}(\boldsymbol{\theta})}{N}$$

Sin embargo, este criterio produce un estimador inconsistente para un número fijo de simulaciones. Para resolver este problema seguimos a Laffont, Ossard, y Vuong (1995) y minimizamos el criterio dado por

$$\boldsymbol{L}_N^1(\boldsymbol{\theta}) = \frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T}\left\{[S_t - \bar{S}_t(\boldsymbol{\theta})]^2 - \frac{1}{N(N-1)}\sum_{n=1}^{N}[S_{tn} - \bar{S}_t(\boldsymbol{\theta})]^2\right\}$$

Este criterio contiene dos términos. El primero es el criterio mínimo cuadrático no lineal estándar, que mide la distancia al cuadrado entre los valores observados de las variables y los valores medios predichos. El segundo término es una corrección de segundo orden para el sesgo de inconsistencia introducido por las realizaciones de los shocks aleatorios en las preferencias. Bajo condiciones estándar, la distribución asintótica del estimador es normal y T consistente de raíz T, para un número fijo de simulaciones N (véase Laffont *et al.,* 1995). En la práctica fijamos el número de simulaciones en 50. Para ese valor encontramos que la corrección del error de simulación es insignificante.

[13] ADDA y COOPER (1997) se centraron en aproximar exclusivamente los momentos, pero un revisor enfatizó la importancia de aproximar la serie temporal de ventas. Finalmente se fija una estrategia de estimación que contiene elementos de ambos, con el fin de identificar los parámetros.

Concentrándonos exclusivamente en las ventas no podemos identificar algunos parámetros del modelo como la tasa de depreciación. Por eso, también queremos aproximar los tres momentos que caracterizan la distribución *cross-section* descritos anteriormente. Sea F_t^i, $i = 5, 10, 15$, el porcentaje de coches de edad i en el año t. Sea tambien $F_{t,n}^i(\boldsymbol{\theta})$ el equivalente simulado, dada la realización n del shock no observable en preferencias. Sea

$$\bar{F}_t^i(\boldsymbol{\theta}) = \sum_n \frac{F_{t,n}^i(\boldsymbol{\theta})}{N}$$

la proporción media simulada para coches de edad i. El criterio es estándar en el método de momentos simulados:

$$\boldsymbol{L}_N^2(\boldsymbol{\theta}) = \sum_{i = 5, 10, 15} \alpha_i [F_t^i - \bar{F}_t(\boldsymbol{\theta})]$$

Donde α_i es una ponderación igual a la inversa empírica de la varianza de cada momento. Los parámetros fueron estimados minimizando el criterio

$$\boldsymbol{L}_N = \alpha \boldsymbol{L}_N^1(\boldsymbol{\theta}) + \boldsymbol{L}_N^2(\boldsymbol{\theta})$$

donde α es un parámetro de escala y se define como la inversa de la varianza de las ventas. Esto genera unas estimaciones consistentes de raíz T, para cualquier número fijo de simulaciones.

D. Resultados de la estimación

En un primer paso estimamos los parámetros auxiliares que caracterizan el proceso conjunto de ingresos agregados y precios. Para ambas series hemos incluido una tendencia lineal. Los resultados se pueden obtener solicitándolos a los autores.

Podemos ver los resultados de la estimación de los parámetros del modelo estructural en la Tabla 2[14]. Por lo general los parámetros estimados son muy sensibles. La curva de la función de utilidad es cercana al 1,5, que es un valor razonable para funciones de utilidad con aversión relativa al riesgo constante. Para la probabilidad de rotura estimamos un valor en torno al 6 por 100. La varianza estimada para el shock idiosincrático sobre el ingreso, implica una distribución de ingresos similar a la observada en Francia en el periodo 1972-94. El ajuste del modelo es bastan-

[14] Después de varias pruebas se ha impuesto $\rho_{\varepsilon Y} = 0$, ya que los resultados no resultaron ser sensibles a variaciones en este parámetro. Los estimadores de la segunda etapa no se han corregido por la estimación del vector autorregresivo inicial. Los errores estándar serían ciertamente mayores, pero tener en cuenta esto por medio de un método bootstrap hubiera sido muy costoso computacionalmente.

te bueno. Por comparación, el R^2 ajustado de una regresión mínimo cuadrática ordinaria de las ventas en las ventas retardadas, en los precios, y en el ingreso es de 0,32, mientras que el (seudo) R^2, ajustado por los grados de libertad, que resulta de aproximar las series de ventas por medio de la estimación estructural, es igual a 0,4. Este mejor ajuste probablemente está reflejando la modelación de la distribución *cross-section* de la edad de los coches.

TABLA 2
PARÁMETROS ESTRUCTURALES ESTIMADOS: UTILIDAD NO LINEAL

Parámetros	Valores estimados	Errores estándar
γ	0,018	0,0011
δ	0,06	0,002
ζ	1,47	0,004
λ	125,6	2,6
σ_ε	0,24	0,01
ω_y	0,99	0,001
$\rho_{\varepsilon c}$	1,0E-4	4E-5
Pseudo R^2 para las ventas	0,4	

NOTA: Los errores estándar los computamos a partir de 100 replicaciones de Monte Carlo.

Este modelo predice funciones de riesgo que son planas hasta la edad de tres y tienen posteriormente pendiente positiva. La tasa de riesgo promedio (tomado este promedio sobre precios e ingresos agregados) está en torno al 10 por 100 a la edad 5, al 17 por 100 a la edad 10, y al 40 por 100 a la edad 20. En la Figura 4 vemos la función de riesgo para los años 1973-92. Para comprobar la sensibilidad de la decisión de reemplazo, calculamos la elasticidad de la función de riesgo ante variaciones de precios e ingresos. A la edad 10, un aumento del 10 por 100 en los ingresos aumenta la probabilidad de reemplazo en un 6 por 100. Un incremento del 10 por 100 en el precio de un coche nuevo genera una disminución de la tasa de riesgo de, aproximadamente, un 13 por 100 para la edad 10.

Como vimos anteriormente, el modelo impone restricciones de crédito. También estimamos una versión del modelo en la que la utilidad es lineal en el consumo de bienes no duraderos (imponemos $\zeta = 0$). Para esta especificación, las variaciones en los ingresos (ya sean agregados o idiosincráticos) no tendrán efectos en la adquisición de automóviles, y por lo tanto la ausencia de «suavización» en el consumo no influirá en la decisión de reemplazo del automóvil. Para permitir cierta variación específica a los hogares, hemos añadido al problema de optimización un shock idiosincrático en las preferencias. Los resultados de esta especificación se muestran en la Tabla 3.

FIGURA 4
FUNCIONES DE RIESGO ESTIMADAS

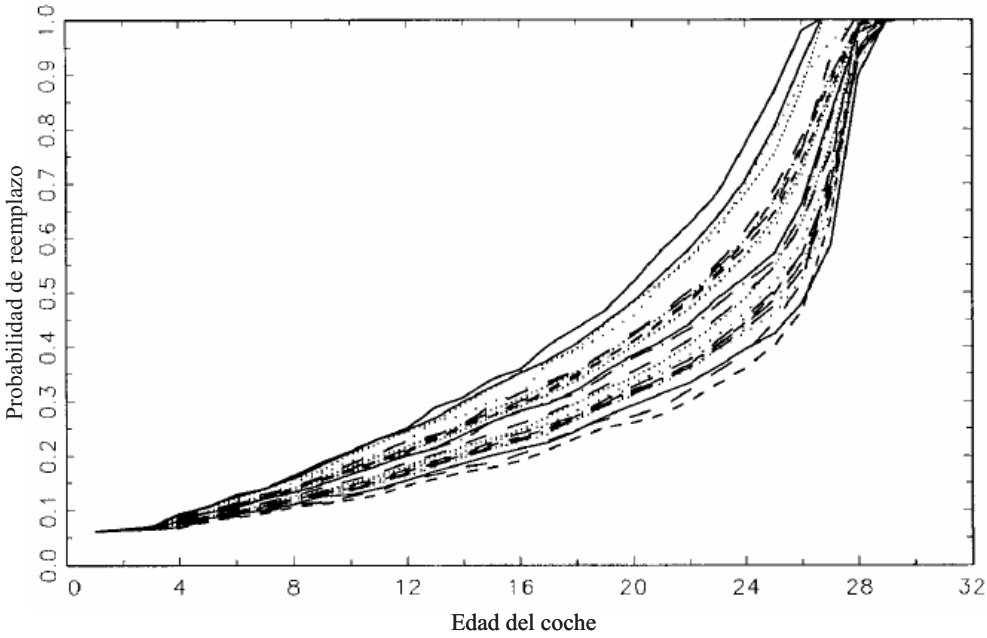


TABLA 3
PARÁMETROS ESTRUCTURALES ESTIMADOS: UTILIDAD LINEAL

Parámetros	Valores estimados	Errores estándar
γ	0,03	0,01
δ	0,06	0,01
ζ	0	…
λ	2,2E-5	1E-5
ω_ε	0,12	0,17
σ_y	0,99	0,002
$\rho_{\varepsilon c}$	3,3E-4	3E-5
Pseudo R^2 para las ventas	0,23	

NOTA: Los errores estándar los computamos a partir de 100 replicaciones de Monte Carlo

En varios aspectos este resultado es similar al obtenido con el modelo con curvatura en la función de utilidad. Aquí, el (pseudo) R^2 que resulta de aproximar las series de ventas, ajustado por los grados de libertad, es de 0,23, y los valores estimados para los parámetros son razonables.

Particularmente interesante es el mayor valor estimado para γ con respecto al que obteníamos cuando la utilidad era estrictamente cóncava. Debido a esta elevada depreciación en los servicios que presta un coche, la función de riesgo para esta especificación es muy parecida a la producida por el modelo con curvatura.

Para una evaluación adicional de los valores estimados, examinamos algunos momentos que caracterizan a la distribución *cross-section*. La Tabla 4 muestra la media y la varianza observadas de la edad media, así como las que genera el modelo. El modelo de utilidad no lineal subestima la edad media de los coches en la economía. Sin embargo, los números que predecimos están cercanos a los observados. Esto mismo se aplica a los coches con edades entre 4-6 o 9-11.

TABLA 4
OTRAS IMPLICACIONES

Momentos	Observados	Modelo no lineal: predicción	Modelo lineal: predicción
Edad media			
Media	6,6	6,1	6,8
Varianza	0,48	0,14	0,21
Número de coches con edades 4-6			
Media	5,461	5,464	5,141
Varianza	358	319	364
Número de coches con edades 9-11			
Media	3,146	2,867	2,975
Varianza	333	219	268

También podemos fijarnos en las implicaciones que el modelo tiene para el precio. En particular, consideramos los precios específicos de cada edad tales que el individuo promedio (en términos de preferencias e ingreso) está indiferente entre mantener el coche o venderlo. Estos precios se obtienen resolviendo una versión no lineal de la ecuación (3), usando los valores estimados de los parámetros. Una vez que hemos calculado la senda de precios, estimamos una «tasa de depreciación», que denotamos por τ, modelada como $\ln(p_i/p_1) = -\tau i$, donde i denota la edad del coche. El valor que estimamos para τ es 0,22 (0,005) usando datos franceses. Estos números son comparables con los estimados por Wykoff (1970), con datos procedentes de EE. UU. Utilizando los datos simulados, el valor que obtenemos es 0,11 (0,06). Por lo tanto, el modelo capta alguno (aunque no todos) de los rasgos observados en los precios de coches usados.

5. Evaluación de la política

Dado el vector de parámetros θ, las recientes reformas de Balladur-Juppè pueden ser evaluadas usando nuestro modelo. Con este fin, el modelo debe ser aumentado teniendo en cuenta un valor estocástico para el valor de desguace. Consideramos cuatro situaciones para el valor de desguace con la matriz de transición dada en la Tabla 5. La primera situación modela la reforma Balladur, y la segunda situación la reforma de Juppè. En la tercera situación no hay subvenciones y hay una gran incertidumbre. La cuarta situación es el caso base. En la primera situación, el valor de desguace se fija en 5.500 francos para los coches que superen los 10 años de edad. Suponemos que esta situación no es muy permanente: sólo hay un 1 por 100 de posibilidades de que la subvención continúe vigente en el próximo periodo. En la situación 2, el valor de desguace es también de 5.500 francos, pero sólo para coches mayores de 8 años[15].

TABLA 5
MATRIZ DE TRANSICIÓN PARA π

	Estado mañana			
Estado hoy	**1**	**2**	**3**	**4**
1	0,01	0,01	0,01	0,97
2	0,01	0,01	0,01	0,97
3	0,225	0,225	0,1	0,45
4	0,01	0,01	0,01	0,97

Para ilustrar la dependencia de la edad óptima de desguace con respecto a π, consideramos las funciones de riesgo para cada una de las cuatro situaciones, evaluadas para los valores medios del precio, el ingreso y el shock agregado sobre las preferencias. Desde nuestra experiencia con este modelo, estas funciones de riesgo no son muy sensibles a la calibración de la matriz de transición. Usando los parámetros estimados, hay un pequeño salto en la función de riesgo a la edad 10 con la reforma Balladur, y otro salto a la edad 8 con la reforma Juppè. En ambas situaciones, la probabilidad de reemplazo es mayor en comparación con la obtenida en la cuarta situación, donde no hay subvención. No es sorprendente comprobar que la introducción de una subvención reduce la edad óptima de reemplazo, generando un desplazamiento hacia arriba en las funciones de riesgo. Para los valores medios de

[15] Se supone que el precio de los coches nuevos (c) no está correlacionado con las políticas. En los datos, el efecto de la política en los precios es pequeño, existiendo incluso un ligero descenso en el precio. Esto podría ser debido a un acuerdo entre el gobierno y los productores de coches.

ingreso y precio, la probabilidad de reemplazo aumenta un 5 por 100. La tercera situación se caracteriza por una función de riesgo más baja dado que los hogares tienen la opción de esperar hasta que la incertidumbre se resuelva en el siguiente periodo. Por lo tanto, en este modelo, la incertidumbre genera un retraso considerable.

Simulamos el modelo utilizando estas funciones de riesgo y tomando la distribución *cross-section* de 1993 como condición inicial. También condicionamos en los ingresos y precios observados desde 1993 hasta 1996. A partir de 1996 utilizamos simulaciones de Monte Carlo para los ingresos, los precios y el shock de preferencias, para calcular las ventas agregadas esperadas y los ingresos del gobierno. Replicamos la simulación 1.000 veces y calculamos esperanzas. Suponemos que las situaciones obtenidas por el valor de desecho son (4, 1, 3, 2, 4, …, 4), empezando en 1993. El subsidio fue introducido en 1994 casi completamente por sorpresa, y se mantuvo durante un año. A esto le siguió un periodo de incertidumbre y después la introducción de la política de Juppè. Como simulación de base, simulamos una economía sin ningún tipo de políticas de subsidios (es decir, la situación 4 ocurre en cada periodo) usando para los ingresos, precios y shocks de preferencias los procesos estocásticos descritos anteriormente.

La Figura 5 muestra las ventas agregadas esperadas relativas a la simulación de base. Cabe destacar el importante aumento de las ventas tras la introducción de la subvención en 1994 y 1996. En 1995, hay un desplome debido a que los coches que hay en la economía son más jóvenes y hay un aumento en la incertidumbre. Nuestra simulación muestra que la edad media de los coches cae un 2,5 por 100 con respeto a la simulación de base y un 3,5 por 100 con la reforma de Juppè. Después de 1996, las ventas esperadas de coches nuevos se mantienen bajas con respecto a la simulación de base por ser lo coches más nuevos; así, dado que la función de riesgo es creciente, las ventas son menores. Esto se mantiene durante unos 15 años, después de los cuales hay un pequeño aumento en el número de coches nuevos cuando son desguazados los coches de la generación correspondiente a la introducción de la política.

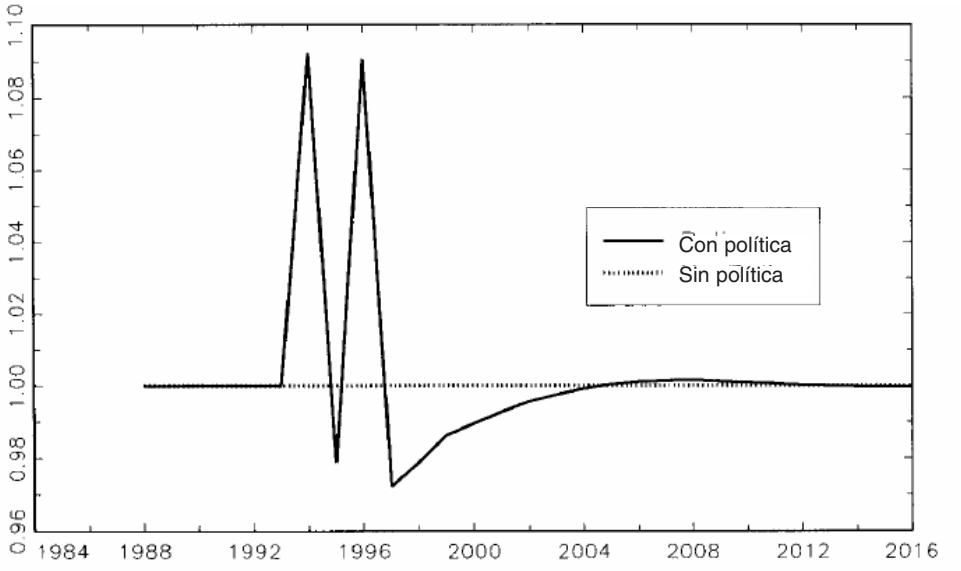
Para calcular los ingresos del gobierno, fijamos el IVA en el 18,6 por 100 entre 1993 y 1995, y un 20,6 por 100 a partir de ese momento. Durante las reformas, el gobierno recibe ingresos por IVA procedentes de las nuevas ventas (cerca de 12.000 francos por coche) pero paga 5.000 francos a los hogares que tienen derecho a beneficiarse de la política. Por lo tanto, el efecto de la subvención sobre los ingresos del gobierno depende de la cantidad de nuevas ventas inducidas por esta política.

la Figura 6 muestra los ingresos esperados del gobierno con respeto a la simulación de base. Los ingresos del gobierno son menores que en la situación sin intervención. Evidentemente, la pérdida de ingresos por los subsidios al desguace no fue compensada incrementando los ingresos por IVA derivados del aumento de ventas. Esto es, la respuesta de las ventas de coches nuevos al susidio no es suficiente para compensar la reducción de ingresos obtenidos por coche.

A partir del análisis de Monte Carlo, podemos obtener la distribución de los ingresos a largo plazo del gobierno. El valor a largo plazo de los ingresos del gobier-

FIGURA 5

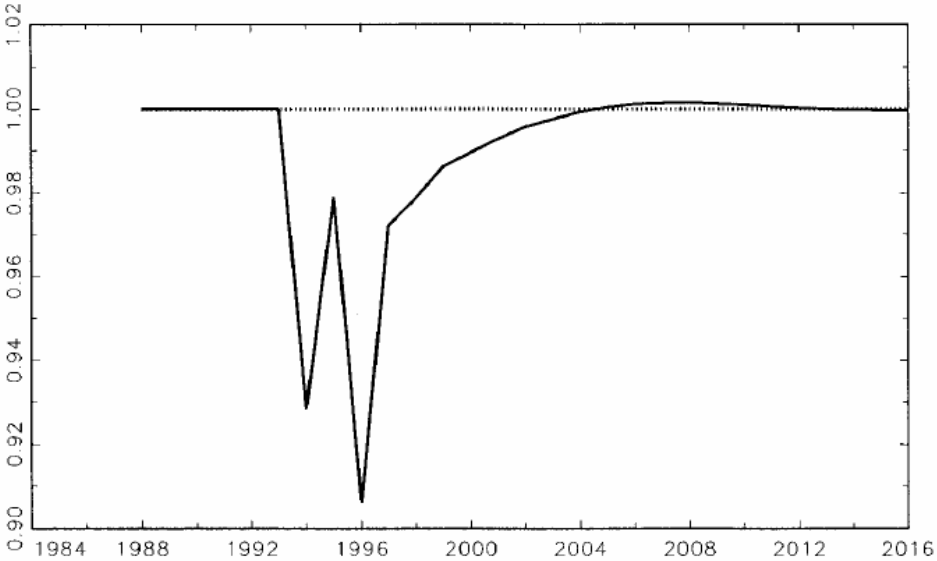
VENTAS AGREGADAS ESPERADAS EN RELACIÓN A LA SIMULACIÓN DE BASE



Año

FIGURA 6

INGRESOS ESPERADOS DEL GOBIERNO EN RELACIÓN A LA SIMULACIÓN DE BASE



Año

no con respeto al caso base, está calculado como la diferencia descontada entre los ingresos bajo la política y los ingresos en el caso base. El factor de descuento que usamos es el 8 por 100, que es el valor utilizado por el Ministerio francés de Finazas en sus cálculos. En media, este número es negativo, en torno a –1,1 miles de millones de francos (–170 millones de euros). Esta caída en los ingresos pudo ser una razón para que en 1995 el IVA fuese incrementado pasando del 18,6 al 20,6 por 100.

Estimamos que el porcentaje de coches subvencionados es el 30 y el 28 por 100, lo cual está razonablemente cercano al 26 por 100 observado durante la reforma Balladur, y al 31 por 100 observado durante la política de Juppè. En lo referente al crecimiento anual de ventas, los números que predecimos para 1993-96 son, respectivamente, 6, –9 y 5 por 100. En los datos, estos valores son el 8,6, 0,4 y 6,7 por 100, respectivamente.

6. Conclusiones

El objetivo de este artículo ha sido el de construir y evaluar empíricamente un modelo de variable discreta de adquisiciones de coches como base para el análisis política económica. Hemos construido un modelo de equilibrio del mercado de coches nuevos y usados que hace hincapié en la naturaleza discreta de las compras. El enfoque pone énfasis en la importancia de la distribución *cross-section* de las generaciones de coches en uso, para determinar el flujo de coches nuevos producidos.

Al modelo básico le hemos añadido una serie de fuentes de incertidumbre, tanto a nivel agregado como a nivel individual. El problema de programación dinámica en este entorno ampliado, da lugar a una función de riesgo a nivel individual. La agregación de los agentes genera una dinámica considerablemente más compleja en las ventas agregadas. Utilizando datos de ventas y momentos de la distribución *cross-section* de las generaciones de coches, hemos estimado nuestro modelo de forma que los momentos simulados estén lo más próximos posible a los observados.

Dados los parámetros estimados, hemos desarrollado un análisis de política económica. Nuestro enfoque enfatiza la respuesta cuantitativa de los agentes individuales ante variaciones en la política, lo que queda reflejado en la dependencia estimada de las decisiones de reemplazo respecto del valor de desguace. Además, la consecuente evolución de la distribución *cross-section* hace que las políticas tengan efectos persistentes.

Consecuentemente, el análisis de política económica es mucho más difícil en este escenario ya que la evolución de la distribución *cross-section* debe ser tenida en cuenta. Dicho esto, nuestro análisis muestra que tener en cuenta este efecto dinámico es factible e instructivo tanto para el diseño como para la evaluación de las políticas.

Referencias bibliográficas

[1] ADDA, J. y COOPER, R. (1997): «Balladurette and Juppette: A Discrete Analysis of Scrapping Subsidies», *Working Paper* no. 6048. Cambridge, Mass.: NBER, May.

[2] ATTANASIO, O. P. (1995): «Consumer Durables and Inertial Behavior: Estimation and Aggregation of (*S*, *s*) Rules», *Working Paper* no. 5282. Cambridge, Mass.: NBER, September.

[3] BAR-ILAN, A. y BLINDER, A. S. (1992): «Consumer Durables: Evidence on the Optimality of Usually Doing Nothing», *J. Money, Credit and Banking* 24 (May): 258-72.

[4] BERRY, S.; LEVINSOHN, J. y PAKES, A. (1995): «Automobile Prices in Market Equilibrium», *Econometrica* 63 (July): 841-90.

[5] CABALLERO, R. J. (1993): «Durable Goods: An Explanation for Their Slow Adjustment», *JPE* 101 (April): 351-84.

[6] CABALLERO, R. J. y ENGEL, E. M. R. A. (1993): «Microeconomic Adjustment Hazards and Aggregate Dynamics», *QJE* 108 (May): 359-83.

[7] CARROLL, C. D. y DUNN, W. E. (1997): *Unemployment Expectations, Jumping (S, s) Triggers and Household Balance Sheets*. Manuscript. Baltimore: Johns Hopkins Univ.

[8] COOPER, R. y HALTIWANGER, J. C. (1993): «The Aggregate Implications of Machine Replacement: Theory and Evidence», *AER* 83 (June): 360-82.

[9] COOPER, R.; HALTIWANGER, J. C. y POWER, L. (1999): «Machine Replacement and the Business Cycle: Lumps and Bumps», *AER* 89 (September): 921-46.

[10] EBERLY, J. C. (1994): «Adjustment of Consumers' Durables Stocks: Evidence from Automobile Purchases», *JPE* 102 (June): 403-36.

[11] GAUTIER, B. y ROUCHET, J. (1995): *Prévision du marché automobile: estimation économétrique de la demande.* Manuscript. París: Direction de la Prévision.

[12] GROSSMAN, S. J. y LAROQUE, G. (1990): «Asset Pricing and Optimal Portfolio Choice in the Presence of Illiquid Durable Consumption Goods», *Econometrica* 58 (January): 25-51.

[13] LAFFONT, J.-J.; OSSARD, H. y VUONG, Q. (1995): «Econometrics of First-Price Auctions», *Econometrica* 63 (July): 953-80.

[14] LAM, P.-S. (1991): «Permanent Income, Liquidity, and Adjustments of Automobile Stocks: Evidence from Panel Data», *QJE* 106 (February): 202-30.

[15] RUST, J. (1987): «Optimal Replacement of GMC Bus Engines: An Empirical Model of Harold Zurcher», *Econometrica* 55 (September): 999-1033.

[16] STOLYAROV, D. L. (1998): *Durable Goods Markets with Transactions Costs.* Manuscript. Philadelphia: Univ. Pennsylvania.

[17] WYKOFF, F. C. (1970): «Capital Depreciation in the Postwar Period: Automobiles», *Rev. Econ. and Statis.* 52 (May): 168-72.

APÉNDICE

Pruebas

Prueba de la proposición 1

Sustituyendo la función de precios (3) en el problema de maximización que define V_i en (1), tenemos

$$V_i = y + s_i + \beta V_{i+1} \tag{A1}$$

que es independiente de k. Por lo tanto, el propietario de un coche de edad $i \geq 1$ está indiferente entre retener coche y venderlo para comprar uno de edad k.

Prueba de la proposición 2

A partir de la proposición 1, a los precios dados por (3), se vaciarán los mercados para todos los coches de edades intermedias. Dado esto, una condición suficiente para que exista un mercado de coches nuevos activo, es que el valor de poseer un coche sea positivo. Si el mercado de coches nuevos está activo, V_0, el valor asociado a no tener coche, está definido por

$$V_0 = \max_{k \geq 1} (s_k - p_k + y + \beta V_{k+1}) \tag{A2}$$

que se iguala a $V_i - p_i$ para cualquier $1 \leq i < J$, esto es,

$$V_0 = V_i - p_i \tag{A3}$$

con p_i dado por la función de precios. Esto es, el valor de no tener coche es igual al valor de tener un coche de edad i menos el precio de ese coche en el mercado. A partir de (1), (3) y (A3),

$$V_i - p_i = y + \beta V_0 + z \tag{A4}$$

que implica

$$V_0 = \frac{y + z}{1 - \beta} \tag{A5}$$

Intuitivamente, (A5) significa que el valor sin coche es el valor descontado de tener un ingreso y cada periodo, más un excedente por periodo igual a z derivado de poseer un coche. Por supuesto, esta caracterización de V_0 sólo tiene sentido si $z > 0$. En otro caso, el mercado de coches no estará activo y V_0 será simplemente $y/(1 - \beta)$. Por lo tanto, $z > 0$ implica un mercado de coches activo.

Para obtener una condición suficiente para que el mercado esté activo, nótese que la competencia hará que el precio de los coches nuevos, p_1, sea igual al coste de producción constante de un coche, c. Claramente, una condición suficiente para un mercado de coches activo es

$$c \leq \sum_{i=1}^{\infty} \beta^{i-1} s_i \tag{A6}$$

que es el valor de poseer un coche para siempre.

Prueba de la proposición 3

Si p_j es decreciente en j, entonces también V_j lo será puesto que, por (A3), su diferencia debe ser constante. Para ver que p_j debe ser decreciente, supongamos que, para algún j, $p_j < p_{j+1}$. Como $s_j > s_{j+1}$, un agente con un coche de edad $j + 1$ podría venderlo y comprar uno de edad j. Esto daría lugar a un mayor flujo de servicios del bien duradero y un mayor consumo. En el siguiente periodo, el consumidor podría vender el coche de edad $j + 1$ por uno de la generación $j + 2$ y retornar a la senda original. El agente tiene unos pagos mayores en ambos periodos en relación a la senda de equilibrio en la que mantiene el coche. En ese caso, la estrategia de equilibrio sin comercio estaría dominada. Por lo tanto, p_j debe decrecer monótonamente en un equilibrio sin comercio.

Prueba de la proposición 4

De (2), (A2) y (A3), la edad crítica, denotada por J, tal que el agente está indiferente entre desguazar y mantener el coche un periodo más, está dada por

$$V_j = y + s_j + \beta(\pi + V_0) = \pi + V_0 \tag{A7}$$

Dado el valor de V_0 obtenido anteriormente, la expresión anterior lleva a una edad crítica a través de s_J. A partir de la proposición 3, sabemos que el J que satisface esto es único. Además, para un valor de π suficientemente bajo en relación a c, $J > 1$.