

## Difusión de Tecnología: Aplicación al sector Eléctrico Español\*

**Juan A. Vega Cervera**

*Facultad de CC.EE y EE. Universidad de Extremadura  
Avda. de Elvas, s/n  
06071 Badajoz*

### RESUMEN

En este trabajo se proponen evaluar las hipótesis schumpeterianas sobre el tamaño de las compañías, la estructura de propiedad y las características de la innovación seleccionada, sobre las decisiones de adopción de nueva tecnología utilizando datos del sector eléctrico español. Para el análisis econométrico, se utiliza un modelo Mcg, Probit y Logit, así como un modelo de tipo proporcional según una distribución de Weibull y un modelo log-logístico Hazard, añadiendo un modelo lineal equivalente a partir de distribuciones de valor extremo (tipo I). La estimación no paramétrica se realiza a través de funciones Kaplan-Meier y funciones log-log respecto de las funciones de supervivencia. Los resultados sugieren que son las empresas privadas y grandes las que adoptan tecnología más rápidamente, si bien, el hecho podría relacionarse con la rentabilidad y solvencia de las compañías según su estructura de propiedad, puesto que fueron las compañías públicas las que obtuvieron mayores niveles de rentabilidad que las privadas en el último trienio, o con la mayor aportación de las empresas más grandes a sus departamentos de investigación y desarrollo.

#### I. - DIFUSIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS.

Desde el inicio de los estudios del cambio tecnológico en la década de los 50, se hacen abundantes estudios sobre difusión de innovaciones. Fundamentalmente a partir de Mansfield (1961), que con su estudio clásico sobre maíz híbrido, ofrece razones de carácter económico que justifican el perfil característico de las curvas en forma sigmoidea, para representar la difusión de innovaciones a través del tiempo.

La importancia de este tipo de trabajo la explican autores como Soete y Turner (1984) o Kennedy y Thirwall (1982) cuando afirman que la disminución del crecimiento de la productividad de una economía puede darse por la ralentización de la velocidad de difusión de innovaciones en aquel sector.

\*. Agradezco a Eduard Berenguer, Julián Ramajo, Agustín García y un evaluador anónimo los comentarios y sugerencias a una primera versión de este trabajo.

Las investigaciones sobre difusión de innovaciones son tan difícilmente encuadrables como cuantificables, tanto por el número de publicaciones existentes (según Thirtle y Ruttan más de 3000 en 1987), como por la heterogeneidad de los temas tratados que van desde temas sociológicos, de educación o de marketing, hasta análisis de difusión de una determinada innovación en sectores industriales, agrarios, de servicios, etc.

Teóricamente, la relación de las industrias al proceso de introducción de innovaciones responde a una curva en forma de S, donde se identifica el primer estado con el nacimiento conceptual, cuando una tecnología aparece como fruto de la investigación en un laboratorio, o en un centro de investigación, y compite con las tecnologías ya existentes que proporcionan el mismo servicio o producto. Entonces viene el crecimiento rápido, seguido por la consolidación, cuando los avances en la tecnología la convierten en "ganadora" en el mercado debido a su superioridad técnica y viabilidad económica frente a las otras. Este es un período de crecimiento exponencial en el empleo de la tecnología. Finalmente, como en la propia vida biológica, llega la madurez tecnológica, cuando los avances se dan, pero a un ritmo mucho más lento.

Una parte importante del trabajo teórico y empírico sobre procesos de difusión de tecnología se centra en el estudio de la influencia de la competencia, de los grados de riesgo soportados, de los beneficios, de la estructura de la propiedad, o del tamaño de la empresa, sobre la decisión de adopción de nuevas tecnologías, lo que estaría relacionado directamente con el problema de la aversión al riesgo, del tratamiento de la información, de la participación en investigación y desarrollo, o de las potenciales economías de escala producidas por el uso de la innovación tecnológica en cada empresa. Por tanto, es necesario contar con datos, tanto de las características de la empresa como de la utilización de la nueva tecnología, hecho que suele ser problemático.

Analizando la propuesta de discusión de este trabajo, y observando la literatura empírica existente al respecto, se observa que no hay en absoluto consenso respecto a la problemática conjunta de los procesos de difusión de tecnología, ni siquiera en el análisis de los efectos schumpeterianos del tamaño de la empresa o de la estructura de mercado sobre las decisiones de adopción de nueva tecnología.

El análisis se centra en el proceso de difusión de tecnología en generadores de vapor en centrales termoeléctricas convencionales en el Sector Eléctrico Español. Del conjunto de componentes de una central de estas características se ha seleccionado el diseño de calderas porque engloba importantes problemáticas —tanto técnicas como financieras— que afectan al sector, como son las limitaciones en eficiencia termal y las barreras en economía de escala. En ningún otro componente se puede apreciar mejor cómo el ascenso en las presiones y en los caudales, las mejoras en las aleaciones, o los niveles de temperatura conseguidos, han obtenido mejoras en la eficiencia del conjunto de la central.

De acuerdo con un estudio realizado por Surrey y Chessire (1972) sobre 126 generadores construidos entre 1948 y 1963, el 63% de la reducción de los costes unitarios de capital derivaban de las economías de escala, siendo la variable más importante el diseño de las calderas. Joskow y Rose (1985) llegan a conclusiones similares en el estudio que realizan sobre costes de construcción de generadores de vapor por carbón en Estados Unidos, cuando especifican las tecnologías que utilizan en función de las máximas presiones que alcanzan los generadores. Los mismos autores reafirman este criterio en 1990.

Las dos tecnologías que se desarrollan en este trabajo son las unidades generadoras de vapor por circulación natural (con límite de 190 Kg/cm<sup>2</sup> en condiciones reales) y las unidades generadoras de vapor por circulación forzada (hasta presiones supercríticas). La tecnología por circulación natural se introdujo en 1951, difundiéndose de forma continuada durante todo el período de estudio. La tecnología por circulación forzada fue introducida por primera vez en 1957, y desarrollada más lentamente.

Se utilizan datos de 21 compañías eléctricas (las que componen Unidad Eléctrica, S.A.) que construyeron 104 unidades generadoras de vapor entre 1950 y 1990, para estimar los determinantes de cada compañía sobre la decisión de adoptar una de las dos tecnologías. Las unidades generadoras de origen nuclear no han sido incluidas por tratarse de tecnología relativamente nueva (para el período de estudio seleccionado), y distinta de la señalada; por otra parte, el escaso número de generadores tampoco hizo esencial la incorporación. Igualmente, las estaciones de generación hidroeléctrica tampoco se han incluido por la escasa evolución técnica de sus componentes.

La literatura sobre procesos de difusión sugiere una serie de factores que pueden influir en las pautas de decisión de una compañía en el momento de adquirir alguna de las tecnologías.

1.- Es de esperar que la velocidad de adopción se incremente con la media del coste del combustible. En concreto se realiza un cálculo de la media de los precios de los diferentes combustibles desde 1950 hasta la actualidad, es decir, precios de hullas (nacionales y de importación), precios de antracitas y lignitos (negro y pardo) y precios de fuel.

Como medida común a todos los combustibles se utiliza el poder calorífico, estimándose lo que costaba en pesetas a cada central generador producir una Kilocaloría (ptas./1000Kcal.).

La decisión de adoptar puede estar igualmente afectada por el tamaño (potencia) de la central (generador) a construir —dadas las tecnologías expuestas—, medido a través de la variable presión. No hay correlación entre dicha variable y el tamaño siempre que no se alcancen presiones supercríticas.

2.- Modelos teóricos anteriores sugieren que un mayor grado de incertidumbre sobre potencial tecnología a adoptar implicará una difusión más lenta. Aunque no se

cuenta con datos suficientes para realizar un test que calibre la influencia de la incertidumbre sobre las pautas de adopción de estas tecnologías, pueden obtenerse algunas ideas comparando las sendas de difusión de ambas tecnologías (a partir de estimaciones no paramétricas, Kaplan-Meier).

La tecnología forzada representa un importante cambio sobre la tecnología de las anteriores calderas. Esta variación supone que la incertidumbre asociada a los costes y beneficios de adoptar la tecnología forzada, haya sido considerablemente mayor que la incertidumbre asociada con la adopción de tecnología natural. Por esto, es de esperar menor probabilidad de adopción, y difusión más lenta para la tecnología forzada.

La velocidad de difusión está condicionada igualmente por tratarse de tecnología incorporada a equipos de larga duración. Los costes de capital de este tipo de unidades son relativamente más grandes que los costes de funcionamiento; por tanto, las plantas son diseñadas para tener una vida útil de 30 años o aún períodos mayores. Esto implica que la decisión de construcción de este tipo de generadores es a muy largo plazo, con los condicionantes e incertidumbre que esto conlleva.

Por otra parte, las pautas de utilización de estos generadores es muy variable, utilizándose fundamentalmente en horas punta con los conocidos problemas de disponibilidad.

Aunque ambas tecnologías han implicado una disminución en los costes totales por generación de electricidad, ninguna de ellas ha supuesto unas diferencias tales que justificara el total reemplazamiento de unas unidades por otras, al contrario que en el caso propuesto por Oster (1982), que encuentra razones económicas suficientes para la completa sustitución de las tecnologías que estudia. Durante todo el período de estudio las dos tecnologías coexisten en el tiempo, suponiendo elección tecnológica pero no sustitución. Todo ello tiende a ralentizar la difusión de ambas tecnologías e implica que solo se observará la decisión de una compañía por alguna de las tecnologías propuestas cuando la compañía decida ampliar su carga base, y no por razones temporales de potencias máximas en determinados períodos del año.

Las decisiones de construcción de nuevos generadores son independientes de las decisiones de adopción de nuevas tecnologías, es decir, el hecho de adoptar una tecnología más avanzada no implica que se acelere el proceso de adopción de la misma, por las razones antes descritas. Asimismo, va a suponerse que las empresas operan como monopolios locales, con ausencia, tanto de la competencia como de la estructura de mercado, y de la influencia de las decisiones gubernamentales para poder centrar el tema en análisis de los determinantes de la difusión de innovaciones. Se ha tenido en cuenta la diversificación generadora de cada una de las compañías eléctricas para observar la potencial relación entre dicha estructura y la adopción de tecnología.

3.- Son conocidas las hipótesis schumpeterianas respecto a los determinantes de la difusión de tecnología: la existencia de una relación positiva entre las innovaciones y

el poder de monopolio y la afirmación de que las empresas grandes son más innovadoras que las empresas pequeñas. Aclarando que cuando se habla de ventajas relativas de un tipo de empresas respecto de otras en el aspecto innovativo, reflejan la idea fundamental de la capacidad para innovar pero no de la propensión para innovar. Dos empresas con distintos tamaños pueden tener la misma propensión a la innovación pero una tener capacidad y la otra no, tal y como expresa la idea Mansfield (1968).

El estudio de la estructura de la empresa y la difusión de innovaciones ha sido analizado en la literatura empírica. De hecho, un breve repaso a algunos de los trabajos existentes verifica la problemática surgida.

Benvignati (1982) estudia la difusión de 33 innovaciones en el sector textil en Estados Unidos, corroborando las hipótesis schumpeterianas respecto a la estructura de la empresa y la adopción de innovaciones. A similar conclusión llega Globerman (1975) cuando analiza la difusión de máquinas herramientas de control numérico en el sector de moldeados y troquelajes.

Si se estudia el sector eléctrico nuclear norteamericano, se puede observar el trabajo de Sommers (1980) que estudia las diferencias de incorporación de la tecnología nuclear para la generación de electricidad respecto a la tecnología convencional. Igualmente encuentra correlación positiva entre empresas grandes y adopción de innovaciones.

La innovación que supuso la creación de cajeros automáticos para grandes bancos fue analizado por Hannan y McDowell (1984) afirmando que los grandes bancos tenderían a adoptar más rápidamente que los pequeños.

Por lo contrario, análisis empíricos que muestran una relación negativa entre el tamaño de la empresa y el grado de adopción, los encontramos en los trabajos de Oster (1982) sobre la adopción de hornos básicos de oxígeno en el sector del acero en Estados Unidos o de Levin, Levin, y Meisel (1987) sobre la adopción de lectores de códigos de barras por parte de grandes cadenas de supermercados en algunos estados del mismo país.

Resultados ambiguos obtenidos de las conclusiones recogidas de la aplicación de difusión de innovaciones en diferentes sectores se observan en los trabajos de Mansfield (1968) y de Nasbeth y Ray (1974), reafirmando la idea de que no hay relación posible constante entre estructura de empresas y adopción de tecnología.

4.- Otra variable que puede afectar a la probabilidad de adopción —aunque su sentido no siempre es el mismo— es la estructura de propiedad. Para este trabajo se ha clasificado dos tipos de compañías: públicas y privadas. Es de especificar la relatividad de este punto debido a la cambiante situación del sector.

No hay diferenciación entre empresas privadas y empresas públicas en la maximización de beneficios o del comportamiento respecto a la generación de electricidad.

5.- La pauta esperada de la difusión en el tiempo puede ser distinta para cada tipo

de tecnología. En el caso de la tecnología natural se trata de una tecnología probada y de la que se obtienen buenos coeficientes de disponibilidad, fundamentalmente para generadores no excesivamente grandes, y como al mismo tiempo la tecnología forzada no supone una revolución tecnológica, es de prever que se sigan tasas de riesgo relativamente constantes. Aunque es cierto también que ambas tecnologías coexisten en el tiempo y ambas han representado elección tecnológica, lo que ha podido suponer un factor de irregularidad, creciendo en un principio, pues la tecnología natural es más antigua, y decreciendo cuando se imponía la tecnología forzada.

Respecto a la tecnología forzada es de esperar que la probabilidad de adopción sea constante a lo largo del tiempo, aunque dependerá del grado de incertidumbre asociado a la disponibilidad y funcionamiento de la misma.

## II. - MODELOS DE ADOPCIÓN DE TECNOLOGÍA

La instrumentación econométrica utilizada obtiene estimaciones paramétricas de modelos *m*cg, *probit* y *logit* y mediante modelos Hazard de tipo proporcional según una distribución de Weibull y Hazard para una especificación Log-logística, añadiendo un modelo lineal equivalente a partir de distribuciones de valor extremo (tipo I). Este tipo de estimaciones han sido abundantemente utilizadas en análisis de duración de desempleo en mercado de trabajo. Algunos ejemplos relevantes pueden observarse en los trabajos de Lancaster (1990), Mortensen (1986), Rider (1988) o Andrés y García (1990). Aplicaciones de modelos Hazard que no analicen la duración del paro de un individuo son más escasas, aunque pueden destacarse los trabajos de Levin, Levin y Meisel (1987) sobre la adopción de lectores de códigos de barras por parte de grandes cadenas de supermercados o Hannan y MacDowell (1984) sobre la adopción de cajeros automáticos por parte del sector bancario.

La estimación no paramétrica se realiza con funciones Kaplan y Meier respecto a las funciones de supervivencia y  $\log(-\log(S(t)))$ , con el fin de observar las sendas de expansión de la adopción de cada innovación.

Los modelos *probit* y *logit* se centran en la probabilidad de que una empresa adopte una determinada opción en lugar de la alternativa, dada una variable dependiente binaria y un conjunto de variables explicativas; por tanto no toman en cuenta el proceso de duración de decisión de la adopción, es decir, se calcula la probabilidad de que cada vez que se construye un nuevo generador se adopte o no nueva tecnología. Por el contrario, el modelo Hazard analiza la probabilidad de transición de un estado a otro, es decir, calculan la probabilidad de que una determinada compañía adopte una innovación dado que no lo hizo con anterioridad.

Suponiendo el estado de un individuo en  $\tau = 0$ ,  $e_{(0)} = i$ ,  $i \in \omega$  con  $\omega = (1,2)$ .

El número de estados descritos desde  $e_{(0)} = i$  son dos aunque podrían ser múltiples

según las elecciones tecnológicas. La probabilidad condicional de que el individuo abandone el estado  $i$  en  $\tau = 0$  en el intervalo  $(t, t+\Delta t)$  en el límite cuando  $\Delta t$  tiende a 0, dada una senda para un determinado vector de variables exógenas  $X(u)|_0^{t+\Delta t}$  y un vector de parámetros  $\sigma$  se estima la tasa de hazard,  $h(t)$ , y se aproxima a una tasa de cambio de doble estado:

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} P(t < T < t + \Delta t | e_{(0)} = \xi(0) = 0, X(t_1), \sigma, T > t) / \Delta t = h(t | e_{(0)} = i, \sigma, X(t)) \quad (1)$$

donde  $\xi$  indica el período de inicio de la selección. En límite de la probabilidad del estado  $i$  a alguno de los estados seleccionados en  $(t, t+\Delta t)$ , dado  $X(u)$ , definida en  $(t, t+\Delta t)$ , y dado  $\sigma$  será:

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} P(t < T < t + \Delta t, e_{(1)} = j | e_{(0)} = i, \xi(0) = 0, X(t), \sigma, T > t) \quad (2)$$

Este modelo en su aplicación al análisis del sector eléctrico, observa un único estado de origen (el de no adopción) y un único estado de salida (de adopción). Las estimaciones obtenidas de esta forma son claras de analizar, al permitir determinar el impacto de una determinada variable en la duración de la transición de un estado a otro, a través de su efecto sobre la probabilidad de adoptar nueva tecnología.

La función Hazard en el caso de una única salida es la probabilidad de que el individuo que ha llegado a una cierta duración en el proceso, abandone el mismo en el instante siguiente. Esto es:

$$h(t, X) = f(t, X) / (1 - F(t, X)) \quad (3)$$

siendo  $f(t, X)$  la función de densidad de la duración en el proceso  $t$  sobre las covariables en  $X$ , y  $F(t)$  su función de distribución en el mismo sentido. Integrando (3) para obtener el proceso de cálculo de la duración de un estado ocupado, dada una función de hazard, se tiene:

$$S(t) = 1 - F(t) = \exp\left(-\int_0^t h(u) du\right) \quad (4)$$

donde se define la función de supervivencia,  $S(t)$ , como la probabilidad que la duración sea mayor o igual que  $t$ . La expresión relaciona las funciones de supervivencia y hazard, y que también puede expresarse como:

$$-\text{dlog}S(t) / dt = h(t) \quad (5)$$

que ofrece una definición de la dependencia de la duración existente en el punto  $t$ .

Otra útil función, que se utiliza es la tasa de hazard acumulado que no implica probabilidades, pero si muestra tendencias a la hora de escoger alguna especificación, siendo su expresión:

$$H(t) = \int_0^t h(u) du = -\text{log}S(t) \quad (6)$$

En el análisis de datos de duración, los modelos hazard suponen una forma paramétrica particular para la función de densidad de una compañía hasta que adopta nueva tecnología, condicionada a un conjunto de variables, fijas o no en el tiempo, y referidas a dicha compañía o al entorno.

Si lo que se pretende es estimar  $\sigma$  para los procesos de transición del individuo  $i$  a otro estado, en una muestra con procesos de búsqueda censurados y no censurados, la contribución a la función de verosimilitud de una observación censurada (en el estado  $i$  en el momento de la muestra) será (4), mientras que la contribución de una observación no censurada será la función de densidad.

La estimación paramétrica del modelo hazard de tipo proporcional supone una especificación donde el efecto de las variables explicativas es multiplicar el hazard  $h(t)$  por un factor  $\phi$  que es una función de las variables de heterogeneidad, que, en la muestra, acompañan cada observación de duración en el estado  $i$ , no mostrándose dependiente de la duración.

$$h_i(t, X) = h_0(t) \phi(X, \beta) \quad (7)$$

definiendo  $h_i$  en el caso de adopción de tecnología que se estudia como la probabilidad de que la empresa  $i$  adoptará una innovación en un período  $t$  condicionado a no haber adoptado dicha innovación en un período anterior a  $t$ , donde  $h_0$  es la función hazard básica que representa la evolución de la tasa de hazard a través del tiempo, y  $\phi$  es una especificación de uso general igual a  $\exp(X\beta)$  y donde  $\beta = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)$  es un vector de coeficientes. Tanto el vector de coeficientes como la función hazard son desconocidas. Dicha especificación implica que el ratio de probabilidades condicionadas de que dos compañías con la misma duración adopten una innovación, dado que no lo habían hecho con anterioridad, es constante, para todo  $t$ .

En primer lugar se desarrolla el modelo hazard proporcional para la especificación Weibull, es decir, se supondrá que la duración en el proceso  $i$  sigue una distribución de Weibull. Teniendo en cuenta la generalización adoptada resulta:



$$h_i(t) = \alpha t_i^{\alpha-1} \exp(X_i \beta_z) \quad (8)$$

Sustituyendo y resolviendo las integrales a la vez que tomando logaritmos, se obtiene la función de verosimilitud:

$$\ln \Pr(t_1, \dots, t_n) = \sum_{i=1}^n ((1-a_i)(\ln \alpha + (\alpha-1)\ln t_i + X_i \beta_z - \exp(X_i \beta_z) t_i^\alpha) - a_i (\exp(X_i \beta_z) \Gamma^\alpha)) \quad (9)$$

donde  $a_i$  es una variable dummy que es 1 si la empresa adopta la tecnología y 0 si no la adopta, y donde  $\alpha$  y  $\beta$  son los parámetros del modelo.

La tasa hazard será monótonamente creciente, constante o decreciente en el tiempo, según que el valor de  $\alpha$  sea mayor, igual, o menor que uno, siendo la probabilidad de adopción creciente dado  $X_i \beta_z$ .

Una segunda selección de la tasa hazard  $h_i(t)$  es escogida para poder realizar comparaciones: distribución log-logística. La estimación paramétrica usando esta distribución es:

$$h_i(t) = \alpha t^{\alpha-1} \exp(X_i \beta_z) / (1 + t^\alpha \exp(X_i \beta_z)) \quad (10)$$

La función de supervivencia resultante es:

$$S(t) = 1 / (1 + \exp(X_i \beta_z) t^\alpha) \quad (11)$$

La función de verosimilitud:

$$\ln \Pr(t_1, \dots, t_n) = \sum_{i=1}^n ((1-a_i)(\ln \alpha + (\alpha-1)\ln t_i + X_i \beta_z - 2\ln(1 + \exp(X_i \beta_z) t_i^\alpha) - a_i \ln(1 + \exp(X_i \beta_z) \Gamma^\alpha)) \quad (12)$$

El uso de esta especificación implica una tasa hazard decreciente si  $0 < \alpha < 1$  respecto de la duración y un hazard que inicialmente se incrementa para posteriormente decrecer con la duración cuando  $\alpha > 1$ .

Puede observarse la similitud entre el modelo descrito de difusión de tecnología y los estudios de duración de desempleo, ya que han de suponerse conocidos los períodos en los cuales las compañías decidirían adoptar o no nueva tecnología, o su equivalente en el mercado de desempleo, en el cual se supone que el trabajo que se oferta es independiente de las características del pasado.

El modelo hazard proporcional admite una interpretación desarrollada en Lancas-

ter (1990) y Kiefer (1988) como modelo lineal a partir de distribuciones de valor extremo (tipo I).

Se define la variable aleatoria  $\varepsilon = -\text{Ln}H_0(t) - \beta X$ , donde la distribución de la variable compone un modelo lineal a partir de la variable dependiente transformada  $t^* = -\text{Ln}H_0(t)$ .

Para el cálculo de la distribución de  $\varepsilon$  se expone el siguiente desarrollo:

$$\Pr(\varepsilon < E) = \Pr(-\text{Ln}H_0(t) - X\beta < E) \quad (13)$$

Se despeja el hazard acumulado y se multiplica por su inversa:

$$\Pr(\varepsilon < E) = \Pr(H_0(t) > \exp(-E - X\beta)) = \Pr(t > H_0^{-1}(t) \exp(-E - X\beta)) \quad (14)$$

A partir de la definición dada para la función de supervivencia, esta probabilidad resulta:

$$\Pr(\varepsilon < E) = \exp(-\exp(X\beta)H_0^{-1}(t) \exp(-E - X\beta)) = \exp(-\exp(-E)) \quad (15)$$

La expresión obtenida es una función de distribución de Valor Extremo de tipo I. En concreto, la expresión de la función es:

$$G_1(X) = \exp(-\exp(-X)) \quad (16)$$

dónde  $-\infty < X < +\infty$  y  $G_1(X)$  es una de las tres posibles distribuciones de valor extremo. Una distribución de valor extremo es una distribución  $G$  para la cual existe una función de distribución  $F$ , tal que si  $X_1, \dots, X_n$  son parámetros para cada distribución  $F$ , entonces  $\max(X_1, \dots, X_n)$ , adecuadamente normalizado, converge a  $G$  (ver Johnson y Kotz, 1970)

A partir de los datos obtenidos puede reescribirse el modelo hazard proporcional de la forma siguiente:

$$-\text{Ln} H_0(t) = \beta X + \varepsilon \quad (17)$$

donde el término de error tiene una distribución que está especificada, pero es no normal, lo que supone problemas de inferencia. Las regresiones por mínimos cuadrados ordinarios utilizando este método implica el conocimiento del hazard acumulado en cada distribución que se utilice, y que en ocasiones (ej: distribución de Weibull) contienen parámetros que tienen que ser estimados.

En el caso de Weibull, observados los valores del hazard acumulado y de hazard,  $H_0(t) = \gamma t^\alpha$  y  $h_1(t) = \alpha t^{\alpha-1}$ , se obtiene:

$$-\alpha \text{Ln } t = \beta X + \varepsilon$$

En el caso Log-logístico, las expresiones de hazard y hazard acumulado son:  
 $h_i(t) = \gamma t^{\alpha-1}/(1+\gamma t^\alpha)$  y  $H_0(t) = \text{Ln}(1+\gamma t^\alpha)$

El modelo puede reescribirse como:

$$-\text{Ln}(\text{Ln}(1+\gamma t^\alpha)) = \beta X + \varepsilon \quad (19)$$

La importancia de este tipo de cálculo queda patente al observarse que los diseños de las centrales termoeléctricas (y en concreto de las instalaciones de las calderas) se realizan para una vida útil de 30 o más años, y que una vez construidos no pueden ser sustituidos fácilmente, tanto por la complejidad técnica del montaje como por los importantes costes de capital que supone (Joskow y Rose, 1985). Por tanto, es esencial un modelo econométrico que base sus resultados en función de la duración o tiempo que una empresa tarda en tomar una decisión, si lo que analiza es el sector eléctrico.

### III. - RESULTADOS Y CONCLUSIONES.

A continuación se describen los principales resultados obtenidos en el análisis junto con algunos estadísticos sobre las pautas de adopción de tecnología en el sector eléctrico.

La base de datos utilizada consiste en 21 compañías eléctricas que construyeron generadores de vapor de origen termoeléctrico convencional (en la muestra se utilizan 104 unidades). No se han incluido en la muestra generadores construidos antes de 1950 con el fin de homogeneizar tecnologías. La innovación seleccionada se basa en la diferenciación tecnológica entre calderas de circulación natural y calderas de circulación forzada y asistida. Se cuenta con 78 unidades de circulación natural y 26 de circulación forzada, construidas por las empresas citadas y que suponen el 55% de la producción total media de energía eléctrica de la década de los 80. Para estas compañías, se obtuvieron datos sobre la media del coste del combustible utilizado en cada generador (en ptas/miles Kcal.), el tamaño de la empresa en producción y potencia instalada, el tipo de propiedad, y algunas características técnicas del generador construido como la potencia, la presión, la temperatura y el caudal.

Sólo se tiene en cuenta la primera adopción, obviando las restantes decisiones de construcción de cada empresa. Es probable que los resultados sean cuantitativamente similares para las especificaciones utilizadas, si bien la interpretación y la magnitud de los coeficientes variarán en los distintos modelos, fundamentalmente por la dife-

rente adecuación del índice hazard.

En primer lugar se analizan algunos estadísticos descriptivos de las variables utilizadas. El tamaño medio de las compañías eléctricas en 1990 fue de 2.131 miles Kw (capacidad) y de 6.918 mill.Kwh.(producción). Respecto al tipo de propiedad, el 63% eran privadas y el porcentaje restante públicas. Los precios de los combustibles utilizados oscilan desde los más caros (fuel-oil y gas natural) entre 1.2 y 1.4 ptas/miles Kcal. hasta los más baratos (hullas y lignitos de importación) que suponen 0.92 ptas/miles Kcal. Respecto a la tecnología natural, la primera adopción se registra en 1951 para a continuación extenderse por la mayoría de las empresas del sector eléctrico (81% de compañías adoptantes) suponiendo la mayor parte del total de generadores construidos hasta 1990 (el 75%). La tecnología forzada, aunque también es regular en su difusión no alcanza los valores anteriores. La primera adopción se realizó en 1957 y el porcentaje de compañías adoptantes en 1990 era del 52% (en los veinte primeros años se alcanza el 71% de penetración en el mercado). Ninguna de las tecnologías suplanta a la rival a pesar de coexistir durante un largo período de tiempo, aunque la tecnología forzada se implanta con fuerza pasando de porcentajes medios del 25% en el período 1960-1980, hasta el 36% en el decenio de los 80, del total de generadores construidos en cada periodo.

Destacan los mayores niveles alcanzados en las características técnicas de los generadores que aplican tecnología forzada, no omitiéndose que los niveles mínimos y máximos son prácticamente iguales a los de la tecnología natural. Los datos técnicos pueden dar una primera idea del avance que ha supuesto la tecnología forzada sobre la natural afianzando los criterios mantenidos sobre economías de escala en la construcción de generadores (mayores potencias) y en eficiencia térmica (niveles medios superiores en presiones), opinión que igualmente comparten autores como Seifi y McDonald (1986) o Smith (1974).

En la figura 1 se exponen los estimadores no paramétricos de las funciones de supervivencia Kaplan y Meier para ambas tecnologías, y en la figura 2 respecto a la  $\log(-\log(S(t)))$ .

En cuanto a las conclusiones que pueden obtenerse de la estimación no paramétrica, se concentran en tres: coexistencia de tecnologías y evolución claramente diferente del grado de adopción de cada tecnología (de la figura 1) y linealidad y proporcionalidad (de la figura 2).

No hay excesiva diferencia respecto a primeras adopciones de nueva tecnología—1951 para la tecnología natural y 1957 para la tecnología forzada—añadiendo que la incorporación de tecnología forzada no implica ni desplazamiento ni desaparición de la tecnología natural, hecho que puede explicarse por los problemas de mantenimiento, repercutidos en menores coeficientes de disponibilidad que tiene esta tecnología. En la actualidad, no existe tecnología suficiente innovadora en este sector que

sea capaz de suplantar tecnologías más antiguas, puesto que las nuevas tecnologías renovables o de fusión son de amplio carácter experimental.

Por otra parte, la evolución de las tecnologías es diferente por las problemáticas que suscitan, ya que, para la tecnología natural, la probabilidad de adoptar en períodos anteriores a 1956 es pequeña, pero a partir de esa fecha, se incrementa fuertemente por un periodo de tres años, hasta 1965, cuando la tasa de riesgo se vuelve más llana, para volver a profundizar a posteriori. La función termina en 1972 cuando dejan de registrarse nuevas adopciones. Las razones apuntan a un tipo de tecnología que, sin generar los máximos niveles de eficiencia, viene predeterminada por buenos coeficientes de disponibilidad. Los niveles de adopción para la tecnología forzada son menores desde su creación. Dicha tecnología es adoptada por las compañías eléctricas con mayor precaución al tratarse de tecnología menos probada. De hecho, el grado de penetración en el sector alcanzado en 1985 se conseguía en el caso de la tecnología natural 20 años antes.

La linealidad de la función  $\text{Log}(-\log(s(t)))$  indica en mayor grado la especificación de un modelo tipo Weibull; además, el relativo paralelismo de las funciones de la figura 2, tanto para tecnología natural como para la tecnología forzada, señalan la proporcionalidad.

Respecto a la tecnología natural, y para ambos tipos de estimación, los resultados son similares, diferenciándose en la magnitud de los resultados en todas las variables para la especificación Weibull respecto a la Log-logística, siendo esta última menor. Lo mismo ocurre en la magnitud estimada de las distribuciones de valor extremo, pues la especificación Weibull es igualmente mayor.

La tecnología forzada se introdujo más tarde que la tecnología natural, pero no es ésta la razón que supone alcanzar menores grados de difusión. Al ser una tecnología más específica, las razones que conllevan esta difusión deberían parecer más claras que la tecnología rival; sin embargo, la incertidumbre asociada a toda nueva tecnología es probable que haya ralentizado el proceso de difusión.

Los resultados más significativos de las especificaciones paramétricas (cuadro 1) sugieren que son las empresas más grandes las que tienden a adoptar tecnología más rápidamente que las empresas más pequeñas. Nuestras estimaciones encuentran correlación positiva entre el tamaño de la empresa y la velocidad de adopción de tecnología, coincidiendo con las conclusiones obtenidas por Sommers (1980) con respecto a la tecnología nuclear y por Hannan y McDowell (1984) en el sector bancario. Estos resultados contrastan con los obtenidos por Oster (1982) y por Levin, Levin y Meisel (1987), el primero en la industria del acero, y el segundo en el sector de supermercados en Estados Unidos, afirmando que las empresas más grandes adoptan innovaciones más lentamente que las empresas más pequeñas. Esta hipótesis coincide además con las mayores aportaciones por parte de las empresas grandes a los departa-

mentos de Investigación y Desarrollo (porcentajes por encima del 0.03% de la facturación total por venta de energía —mínimo legal), por parte de cada compañía eléctrica.

Este resultado se repite tanto para la adopción de tecnología natural como para tecnología forzada. Las conclusiones que se obtienen no coinciden con la afirmación de Oster (1982) en el sentido de que haya correlación negativa para todos los sectores entre el tamaño de la compañía y las industrias intensivas en capital. Es necesario añadir que el resultado puede estar sesgado al detectarse correlación entre el número de compañías que adoptan nuevas tecnologías y el número medio de unidades construidas, sugiriendo que al menos parte del efecto del tamaño puede ser debido a diferencias en la frecuencia de construcción.

Con el fin de establecer efectos no lineales del tamaño de la empresa se incluye además de la variable tamaño, la variable tamaño al cuadrado en las ecuaciones.

Como en el caso del tamaño, la estructura de propiedad ha reflejado resultados ambiguos según el sector de que se trate. Considerando idéntico objetivo de maximización de beneficio, los resultados no son significativos para la tecnología natural, pero sí tiene efectos positivos y significativos para la tecnología forzada, suponiendo que, para esta tecnología, las empresas privadas adoptarían la innovación más rápidamente. Si bien el hecho podría relacionarse con la rentabilidad y solvencia de las compañías según su estructura de propiedad, puesto que fueron las compañías públicas las que obtuvieron mayores niveles de rentabilidad que las privadas (en el bienio 1988-1990). El hecho se relaciona directamente con la mayor agresividad de las compañías públicas en la política de intercambio de activos.

La decisión de adoptar una determinada tecnología puede estar relacionada con las características de la unidad a construir para la tecnología natural pero el resultado no es significativo en el caso de la tecnología forzada, dato que puede estar relacionado con el limitado número de compañías que adoptaron este tipo de tecnología respecto a la tecnología natural.

Finalmente, no resultaron significativos los tipos de combustible empleados para observar la decisión de adopción, dato que puede ser debido a errores de medición en dicha variable.

El hecho de la diversificación energética de cada una de las compañías se ha tenido en cuenta en el cálculo de las estimaciones, es decir, los porcentajes de generación termoeléctrica (convencional y nuclear) y de origen hidroeléctrico de las citadas compañías, no resultando significativa en ningún caso la producción o la capacidad instalada de una empresa respecto a su propensión a innovar.

En cuanto a las perspectivas de difusión tecnológica del sector —según la clasificación establecida—, y mientras se mantega el actual nivel tecnológico y estructura de planeamientos a medio y largo plazo, su evolución estará sesgada por los planes energéticos que se establezcan, incidiendo de menor forma las decisiones de las propias compañías.

## Bibliografía

- ANDRES, J.; GARCÍA, J.: "La Restricción de Oferta de Trabajo en la Economía Española". *Revista de Economía*, 4. 1990.
- BENVIGNATI, A.M.: "Interfirm Adoption of Capital Goods Innovations". *Review of Economics and Statistics*, 64. 1982.
- GLOBERMAN, S.: "Technological Diffusion in the Canadian Tool and Die Industry". *Review of Economics and Statistics*, 57. 1975.
- HANNAN, T.H.; McDOWELL, J.M.: "Market Concentration and the Diffusion of New Technology in the Banking Industry". *Review of Economics and Statistics*, 66. 1984.
- JOHNSON, N.; KOTZ, S.: *Distributions in Statistics: Continuous Multivariate Distributions*. John Wiley & Sons. 1970.
- JOSKOW, P.L.; ROSE, N.L.: "The Effects of Technological Change, Experience and Environmental Regulation on the Construction Cost of Coal Burning Generating Units". *Rand Journal of Economics*, 16. 1985.
- KENNEDY, CH.; THIRWALL, A.P.: "Survey in Applied Economics: Technical Progress". *The Economic Journal*, 3. 1972.
- KIEFER, N.M.: "Economics Duration Data and Hazard Functions". *Journal of Economic Literature*. 1988.
- LANCASTER, T.: *The Economic Analysis of Transition Data*. Cambridge University Press. 1990.
- LEVIN, S.G.; LEVIN, S.L.; MEISEL, J.B.: "A Dynamic Analysis of the Adoption of a New Technology: The Case of Optical Scanners". *Review of Economics and Statistics*, 69. 1987.
- MANSFIELD, E.: "Technical Change and the Rate of Imitation". *Econometrica*. 1961.
- : *Industrial Research and Technological Innovation: An Econometric Analysis*. W.W. Norton and Co. N.Y. 1968.
- MORTENSEN, D.T.: "Job Research and Labour Market Analysis". *Handbook of Industrial Organization*. North-Holland. 1986.
- NASBETH, L.; RAY, G.F.: *Diffusion of New Industrial Processes*. Cambridge University Press. Cambridge, 1974.
- OSTER, S.: "The Diffusion of Innovation Among Steel Firms: The Basic Oxygen Furnace". *Bell Journal of Economics*, 13. 1982.
- RIDDER, G.: "On Generalized Accelerated Failure Time Models". *Review of Economic Studies*, 1990.
- ROSE, N.L.; JOSKOW, P.L.: "The Diffusion of New Technologies: Evidence from the Electric Utility Industry". *Bell Journal of Economics*, 3. 1990.

- SEIFI, A.; McDONALD, J.F.: "Fuel Choice in New Fossil Fuel Electric Power Plants". *Resources and Energy*, 8. North Holland. 1986.
- SMITH, B.A.: "Technological Innovation in Electric Power Generation: 1950-1970". *Lands Economics*. 1977.
- SOETE, I.; TURNER, R.: "Technology Diffusion and the Rate of Technical Change". *Economic Journal*, 94. 1984.
- SOMMERS, P.: "The Adoption of Nuclear Power Generation". *Bell Journal of Economics*, 11. 1980.
- SURREY, A.J.; CHESSHIRE, J.H.: "The World Market for Electric Power Equipment: Rationalization and Technical Change". University of Sussex Science Policy Research Unit. 1972.
- THIRTLE, C.G.; RUTTAN, V.W.: *The Role of Demand and Supply in the Generation and Diffusion of Technical Change*. Harwood Academic Publishers. 1987.



ESTIMACIONES PROBABILIDAD DE ADOPCION TECNOLOGICA

Variables	MCG	LOGIT	PROBIT	HAZARD PROPORCIONAL TECNOLOGIA NATURAL				HAZARD PROPORCIONAL TECNOLOGIA FORZADA			
				WEIB.	VALEXT.	LOG-LOG	VALEXT.	WEIB.	VALEXT.	LOG-LOG	VALEXT.
Constante	-0'402 (0'299)	0'642 (2'63)	-3'769 (1'55)	-18'642 (3'43)	-4'688 (1'59)	-6'061 (3'24)	-3'157 (1'75)	-25'894 (6'620)	-21'933 (3'715)	-30'894 (8'363)	-3'353 (2'802)
Propiedad	0'286 (0'08)	3'115 (1'12)	1'746 (0'57)	-2'272 (1'13)	-0'611 (0'067)	-0'601 (1'004)	-0'389 (0'708)	2'626 (1'236)	2'294 (0'542)	3'352 (1'441)	2'158 (0'714)
Tamaño	0'015 (0'07)	1'304 (0'88)	0'797 (0'32)	0'189 (0'056)	0'802 (0'338)	0'015 (0'0005)	0'538 (0'263)	1'343 (0'521)	1'336 (0'552)	1'736 (0'801)	0'095 (0'435)
Tamaño <sup>2</sup>				-0'129 (0'077)	-0'081 (0'074)	-0'073 (0'101)	-0'0642 (0'069)	-0'138 (0'070)	-0'151 (0'083)	-0'193 (0'110)	-0'968 (0'651)
Combustible	0'201 (0'199)	0'738 (1'97)	0'361 (1'21)	2'741 (2'501)	1'960 (1'704)	2'031 (2'430)	1'213 (1'614)	5'321 (2'350)	5'786 (2'188)	6'645 (3'275)	0'374 (1'751)
Capacidad	0'002 (0'0007)	0'019 (0'006)	0'011 (0'003)	0'030 (0'012)	0'026 (0'010)	0'021 (0'012)	0'074 (0'038)	0'011 (0'010)	0'037 (0'086)	0'014 (0'014)	0'034 (0'066)

