
LA DIGITALIZACIÓN EN LAS TELECOMUNICACIONES ANÁLISIS TEÓRICO Y EMPÍRICO

.....
JULIO JIMÉNEZ
YOLANDA POLO
MANUEL SALVADOR

Universidad de Zaragoza ()*

EL SECTOR DE LAS TELECOMUNICACIONES Y SU IMPORTANCIA EN LAS ECONOMÍAS MODERNAS ES UN TEMA AMPLIAMENTE DEBATIDO EN LA LITERATURA DE ESTUDIOS DE ECONOMÍA Y DE EMPRESA. SU IMPORTANCIA VA MÁS ALLÁ DE LAS

161

estadísticas del sector en sí, puesto que las telecomunicaciones y su capacidad para proveer a los agentes económicos de gran cantidad de información, a gran velocidad, con alta fiabilidad y en formatos que permiten un fácil procesamiento sin tener que recurrir a grandes equipos, pueden, y de hecho ya lo están haciendo, alterar las estructuras productivas de las economías modernas, su localización, desarrollar nuevos productos y servicios, cambiar la forma de comercializarlos y, en definitiva, revolucionar la gestión de las empresas, la estructura competitiva del entorno y

los hábitos de conducta sociales (López-Tafall, 1995).

Sería difícil encontrar un sector de la actividad económica en el que las telecomunicaciones no tuvieran una influencia positiva (Antonelli, 1991). Por tanto, supone un error considerar la política de telecomunicaciones como una política sectorial, puesto que cualquier medida afecta al conjunto de los sectores económicos, ya que se influye en varios aspectos clave de los negocios (López-Tafall, 1995): en la formación de los precios y en la productividad, en las relaciones

con los clientes y en la obtención y gestión de información estratégica y, por último, en la globalización de la Economía.

Las modernas telecomunicaciones se sustentan básicamente en dos innovaciones: la conmutación digital y la fibra óptica. Sin una infraestructura digital adecuada no es posible el acceso a la información, con independencia del tipo de empresa, tamaño o localización (Roobeck, 1988). La dependencia de las nuevas tecnologías de comunicación es tanto técnica como económica:

posibilitan el acceso a todo tipo de servicios, puesto que con los medios electromecánicos anteriores no sería posible, y lo hacen para cualquier tipo de empresas, ya que ni se necesita una mano de obra específicamente cualificada, ni tienen un coste excesivo. Gracias a ello, se produce una mayor difusión, lo que permite, por un lado, aminorar costes (lo cual supone ponerlo todavía más al alcance de cualquier tipo de empresa), y por otro, aumentar su rentabilidad por la posibilidad de aprovecharse de economías de red (Katz y Shapiro, 1985).

El ahorro económico que supone la digitalización puede resumirse en los siguientes aspectos (Antonelli, 1991):

■ Los componentes digitales son más baratos que los electromecánicos (1).

■ Ocupan menos espacio (ahorro en inmuebles).

■ Los procesos de producción se vuelven más flexibles.

■ Capacidad para detectar y corregir errores automáticamente (ahorro en mano de obra).

■ Permite efectuar una serie de labores administrativas, como facturación o contabilización, sin necesidad de intervención humana.

■ Permite la prestación de los servicios telefónicos convencionales a un coste inferior y con mayor calidad y a su vez ofrece la posibilidad de una gran variedad de nuevos servicios, que están al alcance del público en general debido al abaratamiento anteriormente citado.

A pesar de las ventajas en cuanto a servicios y a costes de la conmutación digital, existen diversos obstáculos para la difusión de esta tecnología, o mejor dicho para la sustitución de la tecnología electromecánica por la digital. Uno es el hecho de que durante los años 70 la mayoría de los países más avanzados, efectuaron una importante difusión del sistema telefónico usando el sistema de conmutación entonces existente, el electromecánico, de forma que la sustitución



del mismo por la nueva tecnología digital les supone un coste adicional. Otro obstáculo es la integración de una estructura digital dentro de otra electromecánica, puesto que resulta mucho más costoso que crear una red digital de la nada.

Además, la digitalización ha sido uno de los elementos claves en la transformación de la estructura del sector económico de las telecomunicaciones en todos los países del mundo. Así, hasta principios de los años '80 la estructura habitual en los servicios de telecomunicaciones era el monopolio legal, justificado en razones de tipo natural y ejercido por una empresa controlada por el Estado o bien por la Administración directamente. A estas empresas se las conocía como PTT por ofrecer los tres servicios básicos de comunicaciones: correos, teléfonos y telégrafos (2). Las razones que empujaban a este régimen de explotación eran varias, por un lado por el carácter estratégico del sector, por otro la existencia de economías de escala en la explotación del servicio, y por último, el considerar las comunicaciones como un servicio básico y de interés público (López-Tafall, 1995).

No obstante, las condiciones que en el pasado justificaron la explotación en régimen de monopolio, hoy en día son muy cuestionables. La cada vez mayor

participación del sector en la economía mundial, las nuevas tecnologías de transmisión y conmutación y los nuevos servicios de telecomunicaciones, son tres razones, estrechamente vinculadas entre sí, que hacen más estratégico aún a este sector para la competitividad de los países (MOPTMA, 1996), y que sugieren, por una lado, la no justificación de un monopolio natural para la prestación de cualquier servicio de telecomunicaciones, y por otro, la necesidad de la libre concurrencia para la prestación de los mismos, en aras de una mayor competitividad y eficiencia. Además, los consumidores son cada vez más idiosincráticos y su demanda es cada vez más particular, por lo que parece difícil pensar que un operador único pueda satisfacer las necesidades específicas de cada uno (Torres, 1995) (3).

Consideramos que todas estas razones justifican el estudio de la implantación de la tecnología digital en la telefonía de nuestro país. Por otra parte, es necesario considerar que esta tecnología se ha implantado tanto en las nuevas líneas instaladas como en las ya existentes con anterioridad, por lo que nos encontramos ante un proceso de sustitución tecnológica.

El objetivo general del trabajo es conocer mejor las características del proceso de sustitución de líneas digitales por líneas automáticas realizado por TE en nuestro país. Este estudio es importante tanto para los que analizan el cambio técnico y sus implicaciones, como para aquéllos que tienen responsabilidades en la gestión empresarial.

Los fenómenos de sustitución surgen como fruto de un proceso de difusión que origina, de forma paralela, un proceso de contracción y descenso en las ventas de otro producto inicialmente establecido en el mercado. De este modo, la difusión debe superar las resistencias que los productos consolidados van a ofrecer a la nueva técnica que amenaza con hacerlos obsoletos.

En particular, queremos analizar la existencia de cambios estructurales y su posible justificación histórica, así como si dichos cambios suponen una aceleración o un freno en el proceso. Otra

finalidad del estudio es predictiva: queremos saber en cuántos años se completará la sustitución de seguir las pautas actuales.

También consideramos el anterior proceso de sustitución acaecido y ya completado: la sustitución de líneas automáticas por manuales. Vamos a efectuar el mismo análisis con una finalidad diversa. Al igual que en la sustitución de digitales por automáticas, queremos efectuar un estudio interno del proceso, para comparar las estructuras de sustitución de ambos procesos y constatar si estos dos factores anteriormente comentados, la «superioridad» de la tecnología digital sobre la analógica y el fin del monopolio, han hecho que este segundo proceso de sustitución haya sido más rápido que el primero. Otro objetivo de este análisis es conocer si ha habido o no ruptura estructural, e igualmente buscarle una justificación histórica. Por último, queremos aprovecharnos del hecho de poseer datos históricos para constatar la capacidad predictiva del modelo, y así poder sustentar la validez de las previsiones efectuadas en el segundo proceso de sustitución.

Para ello, utilizamos el enfoque estructural propuesto por Harvey (1989), en detrimento de otros modelos más sencillos como son los modelos de Mansfield (1961), Fisher-Pry (1971) o Blackman (1972, 1974). Ello es debido a que, como ha sido puesto de manifiesto por algunos autores (Kotler, 1971; Easingwood *et al.*, 1981; Skiadas, 1985; Bewley y Fiebig, 1988, entre otros), dichos modelos plantean como hipótesis básica la constancia en el tiempo del coeficiente de imitación, lo cual no parece muy verosímil ya que cambios tecnológicos, modificaciones en el producto, cambios en los precios, la situación general de la economía y otros factores cualesquiera endógenos o exógenos pueden influir sobre el mismo.

Además, la amplitud del período analizado para uno de los procesos y la sensibilidad de su evolución a los vaivenes sufridos por la economía española durante todos estos años aconsejan utilizar una aproximación que permita recoger dicha influencia.



El enfoque estructural de Harvey (1989) descompone la serie de tiempo analizada en sus componentes tendencial, estacional, cíclico y aleatorio que se modelizan por separado. Supone, además, que la evolución de las tres primeras componentes no es estable en el tiempo sino que varía de forma suave siguiendo un camino aleatorio. Basándose en estas ideas, Harvey (1989) proporciona una metodología para la estimación de los parámetros del modelo basada en el filtro de Kalman y la estimación máximo-verosímil (MLE) y, además, toda una batería de contrastes para evaluar la bondad de ajuste del modelo así como sus predicciones extramuestrales. Fruto de dicha teoría es el paquete estadístico STAMP 5.0 que es el que hemos utilizado para realizar el análisis estadístico presentado en este trabajo.

Por otra parte, esta metodología ha sido ya utilizada con éxito en el análisis de la difusión de nuevos productos y de la sustitución de tecnologías (Xie *et al.*, 1997)

El trabajo se estructura en seis puntos. Tras la introducción se revisan brevemente los modelos básicos de sustitución y se presentan los datos analizados en el trabajo (sección 2). En las secciones 3 y 4 se analizan, los dos procesos de sustitución tecnológica elegidos: las líneas telefónicas de tecnología manual

por las de tecnología automática y las líneas automáticas por las digitales, respectivamente, tratando de justificar, en cada caso, la elección del modelo, en función del mejor ajuste a los datos, así como de la capacidad predictiva del mismo. Las conclusiones cierran el artículo. La metodología utilizada es revisada brevemente en un apéndice.

MODELOS DE SUSTITUCION

Existe una variada literatura sobre modelos de sustitución tecnológica, algunos son más rígidos (esto es, permiten una única curva de sustitución, por ejemplo, Fisher y Pry, 1971, Floyd, 1968 y Blackman, 1972) y otros más flexibles (permiten un rango de curvas, Sharif y Kabir 1976). De todos ellos se deduce que el proceso de sustitución de una innovación tecnológica permite reproducir ex ante el perfil histórico de las ventas de un producto.

Una formulación matemática diferencial de todos ellos sería:

$$\frac{df(t)}{dt} = -\frac{C_2}{F} * f(t) \frac{(F - f(t))^2}{(F - (1-s) * f(t))} \quad 0 \leq \sigma \leq 1$$

donde t , es el tiempo, $f(t)$, es la proporción de individuos que han adoptado la nueva tecnología hasta el instante t , F , es

la máxima proporción de sustitución que se puede alcanzar, $C_2 > 0$, es la velocidad máxima de sustitución y σ , es el «parámetro de retardo» que permite adaptar este modelo general a cada modelo específico.

Como consecuencia, el coeficiente de imitación, que mide la velocidad del proceso de sustitución, viene dado por la expresión:

$$b(t) = \frac{d}{dt} \log \left(\frac{g(t)}{F - f(t)} \right) =$$

$$\frac{F}{f(t)(F - f(t))} \frac{df(t)}{dt} =$$

$$= \frac{C_2 (F - f(t))}{(F - (1 - s) * f(t))}$$

y, por lo tanto, es proporcional a una cifra que depende del porcentaje pendiente de sustituir, $F - f(t)$, y que varía, para un instante t dado, desde un valor máximo igual a C_2 (cuando $\sigma=0$, modelo de Blackman), hasta un mínimo igual a

$\frac{C_2}{F} (F - f(t))$ (cuando $\sigma=1$, modelo de

Floyd). Por lo tanto, conforme crece σ , el efecto de la proporción de potenciales adoptantes sobre el coeficiente de imitación es inferior (4).

Además, para un valor del parámetro de retardo dado, $\sigma > 0$, se observa que, conforme crece la proporción de individuos que han adoptado la nueva tecnología, el coeficiente de imitación tiende a disminuir hasta alcanzar un valor mínimo igual a 0 en $f(t) = F$. Tan sólo en el modelo de Blackman dicho coeficiente de imitación permanece constante en el tiempo (5).

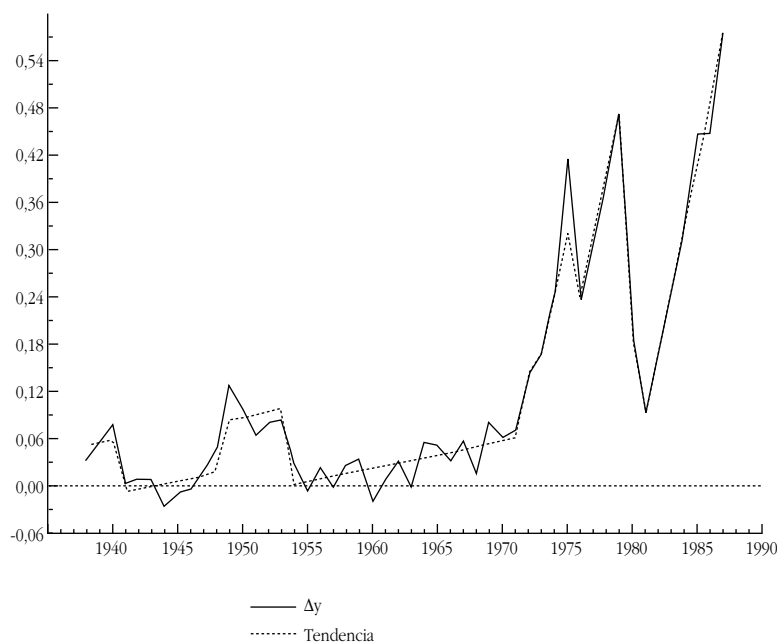
DATOS ANALIZADOS

La serie analizada en ambos procesos de sustitución es el coeficiente de imitación

$$b_t \approx \Delta y_t = y_t - y_{t-1} \text{ donde } y_t = \log \left(\frac{f_t}{1-f_t} \right) \text{ y}$$

f_t es la proporción de líneas telefónicas transformadas en el tiempo t . La frecuencia de observación en cada caso es anual y los períodos analizados abarcan desde

GRÁFICO 1
SUSTITUCIÓN DE LÍNEAS TELEFÓNICAS MANUALES POR AUTOMÁTICAS.
Serie y estimación de la tendencia Δy_t



1937 a 1987 en el proceso de transformación de líneas manuales en líneas automáticas y desde 1980 a 1998 en el proceso de transformación de líneas automáticas en digitales. Las fuentes de datos han sido el Anuario de la Compañía Telefónica de 1988, así como las Memorias de la empresa.

En el gráfico 1 se representa la serie Δy_t del proceso de sustitución de líneas manuales por automáticas. Se observa que el modelo propuesto por Sharif y Kabir (1976) no parece estar soportado por el gráfico anterior puesto que, como se ha dicho anteriormente, dicho modelo implica la existencia de un único máximo y un comportamiento decreciente de la serie Δy_t lo cual está fuertemente rechazado por el gráfico 1. Además, la estimación del parámetro σ sin los acotamientos propuestos por Sharif y Kabir, da un valor que queda fuera de dichos límites (Jiménez, 1996).

En el gráfico 3 se representa la serie Δy_t en el proceso de sustitución de líneas automáticas por digitales. Aunque sólo contamos con 18 observaciones se observa dicha serie parece

mostrar una tendencia lineal decreciente con un ciclo superpuesto. Todo esto nos ha llevado a plantear modelos alternativos que describan la tendencia subyacente a la tasa de crecimiento del proceso de sustitución. Dichos modelos están basados en los de series estructurales de Harvey (1989) que supone que el movimiento sistemático general de una serie es descomponible en tres componentes: una tendencial, una estacional y una cíclica. Dichas componentes, además, no tienen por qué ser constantes a lo largo del tiempo sino que pueden ir cambiando conforme se modifican las circunstancias que determinan la evolución de la serie analizada. Esto permite una adaptación de los parámetros a los cambios en los patrones de difusión, lo cual la hace muy útil cuando se desconocen las razones de las variaciones en dichos patrones y se desean hacer previsiones basadas únicamente en datos históricos. Asimismo, tiene una alta utilidad para investigar el cambio estructural en los parámetros.

El proceso utilizado en identificación, estimación y selección de los modelos

presentados en las dos secciones subsiguientes viene descrito en Koopman *et al.* (1995) y el paquete estadístico utilizado ha sido STAMP 5.0. La identificación de los puntos atípicos que aparecen en los modelos seleccionados se ha hecho a partir del análisis de los residuos de los modelos ajustados y utilizando la información proporcionada por la propia Telefónica de España acerca de acontecimientos extraordinarios que justifiquen el tratamiento de dichos puntos como tales.

SUSTITUCIÓN DE LA TECNOLOGÍA MANUAL POR LA AUTOMÁTICA

En esta sección analizamos el proceso de sustitución de las líneas de tecnología manual por la tecnología automática entre los años 1937 a 1987. Es de destacar que los primeros datos de que disponemos sobre las instalaciones de líneas automáticas datan de 1930, pero la discontinuidad de dichos datos por la ausencia de información durante el período de la Guerra Civil, nos ha llevado a considerar la serie desde 1937, cuando ya se había alcanzado un nivel de sustitución de líneas manuales del 58 por 100.

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL PROCESO DE SUSTITUCIÓN

Estimación de los parámetros del modelo. La ecuación del modelo estimado es la siguiente:

$$\Delta y_t = \mu_t + 0,093475 I_{1975} + \varepsilon_t \text{ con } \varepsilon_t \sim N(0; 0,021063)$$

donde μ_t es la tendencia de la serie que viene dada por las expresiones:

$$\mu_t = 0,0513921 + 0,0033756 (t-1938) - 0,067577 I_{1941} + 0,063705 I_{1949} - 0,099135 I_{1954} \text{ si } t \leq 1970$$

$$\mu_t = 0,0597798 + 0,079157 (t-1971) - 0,054478 I_{1973} - 0,170151 I_{1976} - 0,35875 I_{1980} - 0,17661 I_{1981} \text{ si } t \geq 1971$$

donde $I_a = 1$ si $t = a$ y 0 si $t \neq a$ es la variable de intervención en el año a . La tendencia estimada se representa en el gráfico 1 junto con la serie analizada.

GRÁFICO 2
SUSTITUCIÓN DE LÍNEAS TELEFÓNICAS MANUALES POR AUTOMÁTICAS.
Predicción extramuestral entre 1983 y 1987

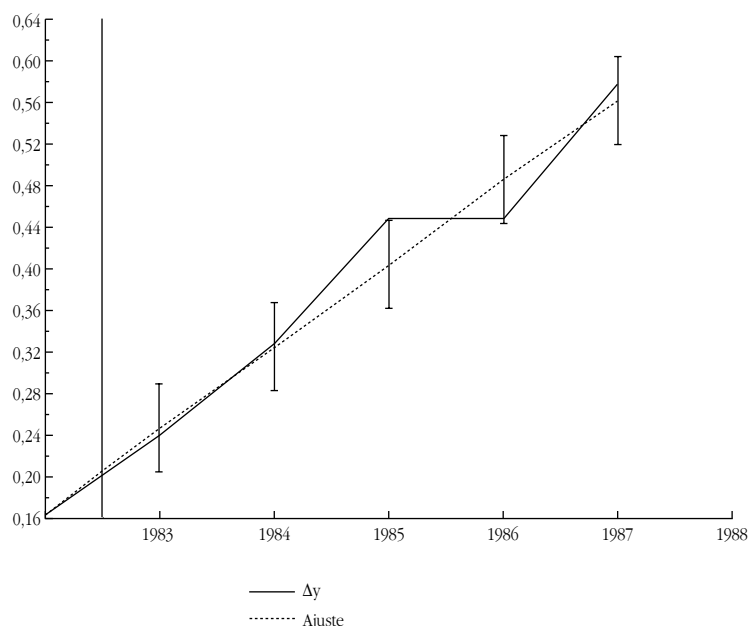
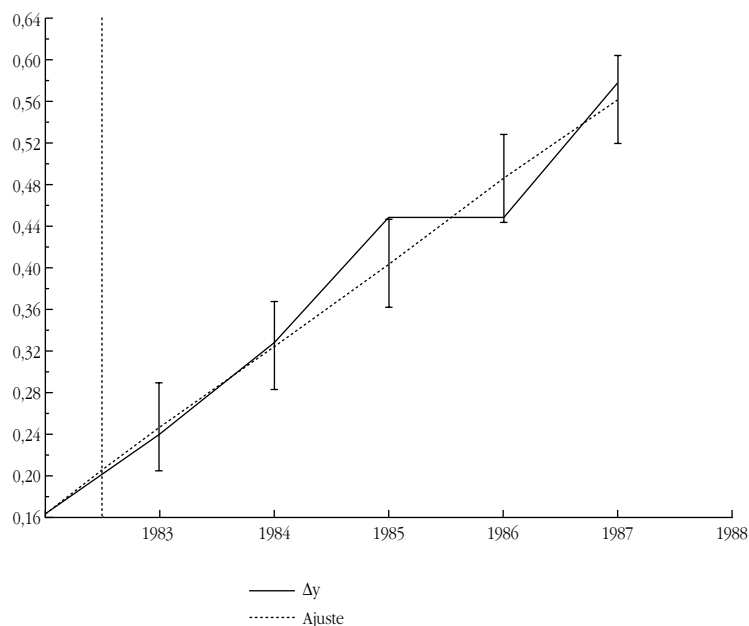


GRÁFICO 3
SUSTITUCIÓN DE LÍNEAS TELEFÓNICAS MANUALES POR DIGITALES.
Serie Δy_t y estimación de $\mu_t + \psi_t$



En la tabla 1 se muestran los errores estándar de los parámetros estimados así

como el valor del estadístico t que contrasta si son significativamente distintos

de 0 y el p-valor asociado (entre paréntesis). Se observa que todos los parámetros estimados son muy significativamente distintos de 0.

Bondad de ajuste del modelo propuesto. Procedemos, a continuación, a estudiar la bondad de ajuste del modelo propuesto mediante el análisis del comportamiento predictivo extramuestral. Este se completa en el Anexo 1 con un análisis de los residuos del ajuste.

Para analizarlo tomamos como período de estimación el período comprendido desde 1937 a 1982 con el fin de evitar observaciones en las que haya habido intervenciones. Como período de validación extramuestral tomamos el comprendido entre 1983 y 1987. Los resultados aparecen descritos en el gráfico 2 y la tabla 2.

En el gráfico 2 se representan las predicciones hechas un paso adelante con el modelo estimado junto a los valores de la serie observada y los intervalos predictivos con un nivel de confianza del 95,5 por 100 (± 2 Error Estándar). Se observa, en general un buen comportamiento predictivo excepto en 1985 en el que el modelo infrapredice significativamente al nivel del 95,5 por 100 (aunque no al nivel del 99 por 100). En la tabla 2 se evalúa el comportamiento global del modelo en la predicción extramuestral (6).

Ambos tests no encuentran evidencia de mal comportamiento predictivo. Podemos concluir, por lo tanto, que el ajuste del modelo es adecuado.

INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

Se observa que, en el período analizado, la tasa de crecimiento relativa del proceso de sustitución de líneas manuales por líneas automáticas y digitales ha sido positiva, con un ritmo de crecimiento positivo distinguiéndose dos períodos claramente diferenciados (ver gráfico 1): el primero que abarca desde 1937 hasta 1970 en el que el ritmo de crecimiento de dicha tasa ha sido lento cifrándose en un 0,34 por 100 anual y el segundo que abarca desde 1971 hasta 1987 en el que

TABLA 1
SUSTITUCIÓN DE LÍNEAS MANUALES
Estimaciones de los parámetros del modelo

Variable	Estimación	Err. Estándar	t-valor [p-valor]
β_{1938}	0,0033756	0,00102558	3,9217 [0,001]
β_{1941}	-0,067577	0,015017	-4,5 [0,0000]
β_{1949}	0,063705	0,013235	4,8134 [0,0000]
β_{1954}	-0,099135	0,014716	-6,7366 [0,0000]
β_{1971}	0,075782	0,003741	20,257 [0,0000]
β_{1973}	-0,054478	0,019062	-2,858 [0,0063]
β_{1975}	0,093475	0,026354	3,5469 [0,0009]
β_{1976}	-0,17015	0,023226	-7,3261 [0,0000]
β_{1980}	-0,35875	0,025205	-14,233 [0,0000]
β_{1981}	-0,17661	0,026716	-6,6107 [0,0000]

TABLA 2
COMPORTAMIENTO PREDICTIVO DEL
MODELO PROPUESTO PARA LA
SUSTITUCIÓN DE LÍNEAS MANUALES

Test	Valor	p-valor
Test de fallo predictivo	8,09162	0,1513
t-test CUSUM	0,378844	0,7067

el ritmo de crecimiento ha sido mucho más rápido cifrándose en un 7,92 por 100 anual.

En el período de «sustitución lenta» comprendido entre 1937 y 1970 se observa, además, un descenso anormal de la tasa de crecimiento en el año 1941 debido a la penuria económica existente poco después de haber finalizado la guerra civil, y un período de expansión entre los años 1949 hasta 1954 en el que dicha tasa de crecimiento se incrementó en un 6,37 por 100 debido, por un lado, a que en 1949 revierte a Telefónica la Red Provincial de Guipúzcoa al extinguirse la concesión a los Ayuntamientos y Diputaciones para la explotación del servicio y, por otro lado, a una tendencia expansiva de la empresa con un elevado número de instalaciones de nuevos teléfonos.

En el período de «sustitución rápida» se distinguen 4 descensos significativos de la tasa de crecimiento en los años 1973, 1976, 1980 y 1981. Los descensos de 1973, 1980 y 1981 se deben a las crisis económicas provocadas por las dos crisis del petróleo que hubo dichos años. El descenso de 1976 se debe a la inestabilidad política que hubo dicho año: Franco había muerto el año anterior y fue el año

previo a la reforma política y a la celebración de las primeras elecciones democráticas. Por último, cabe destacar el fuerte crecimiento habido el año 1975 en el que la tasa de crecimiento aumentó un 9,35 por 100 con respecto a la del año anterior debido a la política de expansión iniciada por la compañía a partir de 1974 y que culmina con la instalación de 10 millones de teléfonos en 1978.

Resumiendo, en el proceso de sustitución de líneas manuales por líneas automáticas y digitales, se pueden distinguir dos períodos: un período de «sustitución lenta» comprendido entre 1937 y 1970 y otro de «sustitución rápida» comprendida entre 1971 y 1987 pero con multitud de fechas atípicas debido, principalmente, a acontecimientos de tipo económico y/o político que afectaron positiva o negativamente a dicho proceso de sustitución.

SUSTITUCIÓN DE LA TECNOLOGÍA AUTOMÁTICA POR LA DIGITAL

La tecnología digital se ha comenzado a implantar recientemente y con gran rapidez en España; prueba de ello es que este proceso se inició en 1980 y a finales de 1998 ya había alcanzado el 86,3 por 100. El período analizado abarca desde 1980 a 1998 y los datos se observan con frecuencia anual. En este caso sólo contamos con 18 datos que es un tamaño muestral escaso para poder realizar inferencias suficientemente precisas por lo

que los resultados que aparecen a continuación deberían interpretarse con precaución.

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL PROCESO DE SUSTITUCIÓN

Estimación de los parámetros del modelo. La aparente existencia de un ciclo en la evolución de la serie analizada (gráfico 4) nos lleva a la estimación de un modelo con componente cíclica (ver Koopman et al. (1995). El modelo estimado viene dado por las ecuación:

$$\Delta y_t = \mu_t + \psi_t + \varepsilon_t \text{ con } \varepsilon_t \sim N(0; 0,0132)$$

donde $\mu_t = 0,6282 - 0,0200 \cdot (t-1981)$ es la tendencia lineal de la serie y ψ_t es el ciclo de la serie que viene dado por las expresiones:

$$\begin{bmatrix} \psi_t \\ \psi_t^* \end{bmatrix} = 0,9625 \begin{bmatrix} \cos(0,7364) & \sin(0,7364) \\ -\sin(0,7364) & \cos(0,7364) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \psi_{t-1} \\ \psi_{t-1}^* \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \omega_t \\ \omega_t^* \end{bmatrix}$$

donde ω_t , ω_t^* dos procesos de ruido blanco independientes entre sí e idénticamente distribuidos con una distribución $N(0; 0,0214)$.

Se trata, por lo tanto, de un ciclo cuasi no estacionario con un período de 8,53 años y una amplitud igual a 0,2388 cuya representación gráfica viene dada en el gráfico 4. En el gráfico 3 se representa la serie Δy_t junto con la parte sistemática del modelo, que viene dada por la suma de la tendencia y el ciclo estimado; en la tabla 3 se muestra el error estándar y el t-estadístico de la pendiente estimada de la tendencia determinística de la serie de la que se concluye que dicha pendiente es significativamente negativa.

Bondad de ajuste del modelo propuesto. Procedemos, a continuación, a estudiar la bondad de ajuste del modelo propuesto mediante el análisis del comportamiento predictivo extramuestral. Este se completa en el Anexo 2 con un análisis de los residuos del ajuste.

Tomamos como período de estimación desde 1981 a 1993 y como período de validación extramuestral desde 1994 a 1998. Los resultados obtenidos se mues-

GRÁFICO 4
SUSTITUCIÓN DE LÍNEAS TELEFÓNICAS AUTOMÁTICAS POR DIGITALES
Ciclo estimado de Δy_t

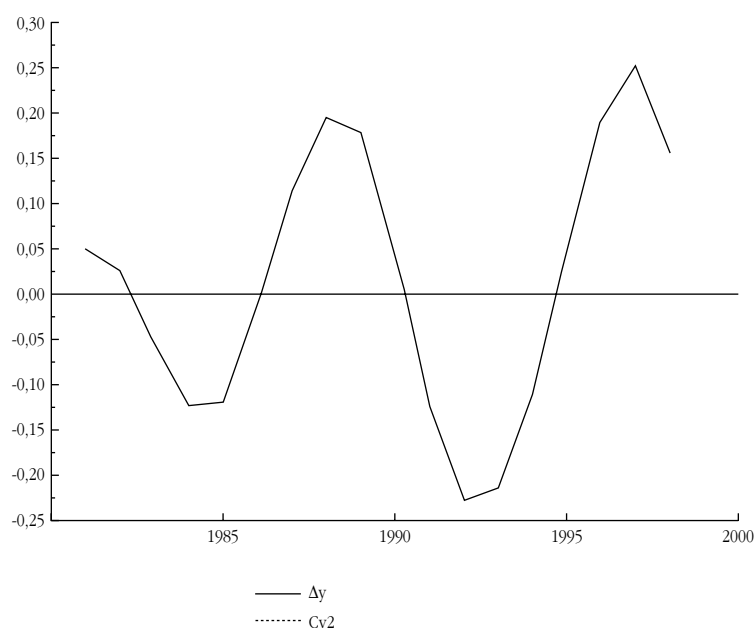
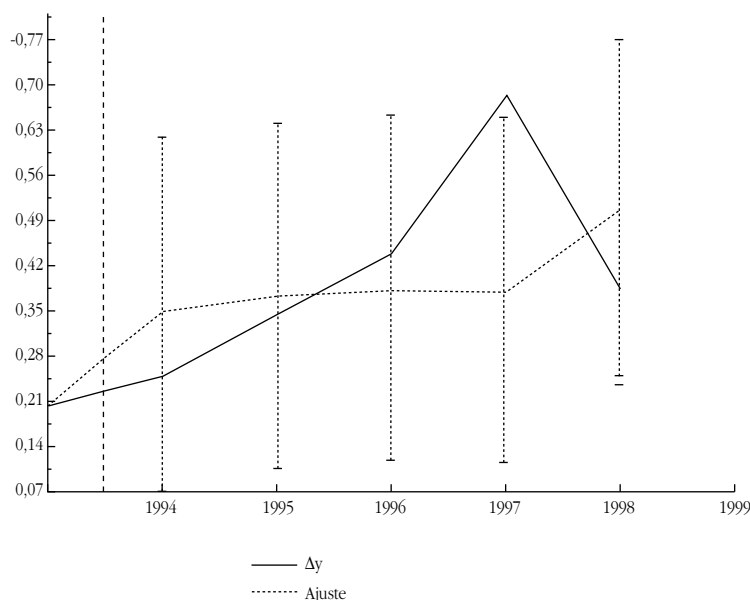


GRÁFICO 5
SUSTITUCIÓN DE LÍNEAS TELEFÓNICAS AUTOMÁTICAS POR DIGITALES.
Predicciones extramuestrales 1993-1998



tran en la tabla 4 y en el gráfico 5. En dicho gráfico se representan las predicciones un período adelante, la serie

observada y los intervalos predictivos con un nivel de confianza del 95,5 por 100 (± 2 errores estándar). Se observa,

en general, un buen comportamiento predictivo del modelo salvo en el año 1997 que corresponde a un valor atípico del modelo ajustado (ver anexo 2). En la tabla 4 se evalúa el comportamiento global del modelo en la predicción extramuestral utilizando el contraste de fallo predictivo extramuestral así como el t-test CUSUM, no encontrándose evidencia de mal comportamiento predictivo. Podemos concluir, por lo tanto, que el ajuste del modelo es adecuado. Pasamos, a continuación, a interpretar los resultados obtenidos.

INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

Se observa que, en el período analizado, la tasa de crecimiento relativa del proceso de sustitución de líneas automáticas por líneas digitales ha sido positiva, con un ritmo de crecimiento positivo pero con una desaceleración estimada en un 2,00 por 100 anual y con un ciclo de unos 8 a 9 años de duración que refleja aproximadamente, los ciclos expansión-recesión de la economía española en estos últimos años. Dichos ciclos pueden apreciarse claramente en el gráfico 3, observándose la existencia de un período recesivo desde 1981 a 1985, un período expansivo desde 1986 (año de entrada en el Mercado Común) hasta 1990, un período recesivo desde 1991 (año de la crisis del Golfo) hasta 1993 y otro período expansivo desde 1994 hasta 1997, año en el cual se produce un incremento significativo en la tasa de sustitución de líneas automáticas por digitales debido, muy problemáticamente, a la liberalización del Mercado de las Telecomunicaciones acaecida en el mismo.

La presencia de este proceso cíclico en la sustitución de líneas automáticas por digitales puede ser debida a que la política de actuación de Telefónica esté muy marcada por los vaivenes de la economía española. Hemos de decir, sin embargo, que estos resultados deben interpretarse con mucha precaución dado que el tamaño muestral de la serie analizada (18 datos) no es lo suficientemente grande como para identificar con toda exactitud su proceso generador de datos y se corre el riesgo de incurrir en «overfitting».

TABLA 3
SUSTITUCIÓN DE LÍNEAS AUTOMÁTICAS
Estimación de los parámetros

Variable	Estimación	Error Estándar	t-estadístico	p-valor
Pendiente período	-0,0200	0,006	-3,53	0,0028

TABLA 4
COMPORTAMIENTO PREDICTIVO DEL MODELO PROPUESTO
PARA LA SUSTITUCIÓN DE LÍNEAS AUTOMÁTICAS

	Test Valor	p-valor
Test de fallo predictivo	7,1146	0,2123
t-test CUSUM	0,3755	0,7144

ANEXO 1
ANÁLISIS DE LOS RESIDUOS ESTANDARIZADOS DE LA SUSTITUCIÓN
DE MANUALES POR AUTOMÁTICAS

En el análisis de los residuos estandarizados del modelo no se observa la presencia de residuos significativos, ni de ningún patrón sistemático salvo una disminución de la varianza en el período 1971-1985 provocado por las intervenciones hechas en dicho período. Para contrastar la heterocedasticidad utilizamos el estadístico H(16) proporcionado por STAMP 5.0 (7). En nuestro caso $H(16) = 0,482$ y el p-valor asociado es 0,0775 por lo que concluimos que no hay evidencia de heterocedasticidad.

En la tabla A.1 se analiza la correlación residual mediante el estadístico de Durbin y Watson y los estadísticos de Box-Ljung.

TABLA A.1
ESTUDIO DE LA CORRELACIÓN RESIDUAL PARA LA SUSTITUCIÓN DE LÍNEAS MANUALES

Retardo	Autocorrelación	Box-Ljung	p-valor
1	-0,0665	0,2256	[0,6348]
2	0,041	0,3134	[0,8549]
3	-0,1203	1,0853	[0,7806]
4	-0,2699	5,0592	[0,2813]
5	-0,001	5,0593	[0,4087]
6	-0,0137	5,0701	[0,5349]
7	-0,0142	5,0818	[0,6500]
8	0,1255	6,0271	[0,6442]
9	0,036	6,107	[0,7292]
10	0,0643	6,3679	[0,7835]
DW	2,117		

Aunque la autocorrelación muestral de orden 4 es significativa su valor no es lo suficientemente alto como para que los contrastes de Box-Ljung rechacen la hipótesis nula de ruido blanco de los residuos. Dado que el número de datos analizados no es muy grande, el valor de dicha autocorrelación tampoco y el retardo en el que aparece es tardío concluimos que el ajuste es correcto.

En la tabla A.2 se analiza la normalidad de los residuos estandarizados. No se observa falta de normalidad.

TABLA A.2
ANÁLISIS DE LA NORMALIDAD DE LOS RESIDUOS ESTANDARIZADOS
EN LA SUSTITUCIÓN DE LÍNEAS MANUALES

Estadístico	Valor	p-valor
Test Asimetría	0,12384	[0,7249]
Test Curtosis	0,055737	[0,8134]
Test de Bowman y Shenton	0,17958	[0,9141]
Test de Doornik-Hansen	0,30569	[0,8583]

CONCLUSIONES

Hemos analizado dos procesos de sustitución de tecnología en el sector de las telecomunicaciones: el de tecnología manual por la tecnología automática y el de dicha tecnología por la digital, en Telefónica de España en los periodos 1937 a 1987 y 1980 a 1998, respectivamente. Para ello hemos construido sendos modelos que describen dicha evolución en términos de sus respectivos coeficientes de imitación. Dada la amplitud del período analizado en el proceso de sustitución de tecnología manual por la tecnología automática, así como la sensibilidad observada de ambas series a los vaivenes político-económicos de España en los años analizados, se ha realizado un análisis estructural de las series de tiempo estudiadas, utilizando la metodología propuesta por Harvey (1989) e implantada en el paquete estadístico STAMP 5.0 (Koopman *et al.*, 1995).

Los modelos obtenidos muestran un buen ajuste a la serie y un comportamiento predictivo extramuestral aceptable si bien, en el caso del proceso de sustitución de tecnología automática por tecnología digital, el escaso tamaño muestral analizado (18 datos) hace que los resultados obtenidos en este caso deban interpretarse con precaución.

En el proceso de sustitución de líneas manuales por líneas automáticas y digitales, se distinguen dos periodos: en ambos la tendencia es creciente, sin embargo la pendiente es muy distinta, de forma que podemos hablar de un período de «sustitución lenta», comprendido entre 1937 y 1970 (con un crecimiento del 0,337 por 100 anual), y otro de «sustitución rápida» comprendido entre 1971 y 1987, en el que se da una fuerte aceleración con un crecimiento 22 veces superior (7,578 por 100 anual). Este período de expansión en la tecnología automática iniciado en la década de los '70 es similar al que se produce en otros países de Europa, lo cual puede corroborar el hecho, ya apuntado por Antonelli (1991), de que una vez que se ha acometido la inversión en infraestructura, se pueden añadir líneas a muy bajo coste.

ANEXO 2 ANÁLISIS DE LOS RESIDUOS ESTANDARIZADOS DE LA SUSTITUCIÓN DE AUTOMÁTICAS POR DIGITALES

Se observa un valor atípico en el año 1997 con un residuo positivo igual a 2,1542 que es significativo al 5 por 100 pero no al 1 por 100. Dicho valor atípico es debido a un aumento en la tasa de sustitución de líneas automáticas por digitales debido, muy probablemente, a la liberalización del mercado de las telecomunicaciones acaecida dicho año.

En la tabla A.2 se analiza la correlación residual. No se observa ningún efecto significativo.

TABLA A.3
ESTUDIO DE LA CORRELACIÓN RESIDUAL PARA LA SUSTITUCIÓN DE LÍNEAS MANUALES

Retardo	Autocorrelación	Box-Ljung	p-valor
1.....	0,1065		
2.....	-0,0241		
3.....	-0,2132		
4.....	-0,0438	1,2825	[0,2574]
5.....	-0,2917	3,5097	[0,1729]
6.....	-0,2551	5,3742	[0,1457]
7.....	0,0587	5,4943	[0,2402]
DW	1,541		

En la tabla A.4 se analiza la normalidad de los residuos estandarizados. Los contrastes no indican falta de normalidad.

TABLA A.4
ANÁLISIS DE LA NORMALIDAD DE LOS RESIDUOS ESTANDARIZADOS EN LA SUSTITUCIÓN DE LÍNEAS MANUALES

Estadístico	Valor	p-valor
Test Asimetría	2,1652	[0,1412]
Test Curtosis	0,2489	[0,6179]
Test de Bowman y Shenton	2,4141	[0,2991]
Test de Doornik-Hansen	3,3324	[0,1890]

En ambos periodos se observan multitud de fechas atípicas debido, principalmente, a acontecimientos de tipo económico y/o político que afectaron positiva o negativamente a dicho proceso de sustitución, todo ello debido a que dicho proceso de sustitución no sólo viene marcado por el mercado sino también por los gerentes de Telefónica que actúan, en muchas ocasiones, condicionados por el entorno político y económico español.

En el proceso de sustitución de tecnología automática por tecnología digital se observa una desaceleración en su ritmo de crecimiento, estimada en un 2,00 por 100 anual, aunque partiendo de unos niveles muy altos (término independiente 0,6282), y un ciclo de unos 8 a 9 años de duración que supone un aumento de las tasas de sustitución hacia finales de los '90, lo cual

refleja, aproximadamente, los ciclos expansión-recesión de la economía española en estos últimos años, además del esfuerzo tecnológico efectuado para dar el servicio demandado por los acontecimientos del '92 y por la competencia surgida a partir de 1997.

Esto parece lógico dado que la sustitución de líneas automáticas por digitales es algo que compete a los directivos de Telefónica cuyas decisiones, en este sentido, están muy marcadas por los vaivenes de la economía española. No obstante, el resultado final es un rápido proceso de sustitución, a una velocidad mucho mayor que la que se observa en el anterior (en menos de 20 años el proceso casi se ha completado).

Además, este último proceso de sustitución se ha enfrentado a un obstáculo técnico adicional: la necesidad de inte-

grar la nueva tecnología en la infraestructura analógica exige establecer una serie de conexiones que incrementan el coste de la digitalización; esto, a su vez, se ha visto agravado por la rápida expansión de la anterior tecnología automática (Antonelli, 1991)

En definitiva, se observa que, no es posible estudiar ninguno de los procesos de sustitución sin considerar la influencia de los vaivenes de la economía española. Sin embargo, existen claras diferencias en la evolución seguida por ambos; así, mientras el primer proceso es mucho más lento y presenta una ruptura estructural en la década de los '70, a partir de la cual se observa una marcada aceleración, el segundo, es mucho más rápido, presenta un ciclo con una desaceleración del proceso. Esto puede verse comparando las tendencias estimadas de ambos modelos (gráficos 1 y 4).

(*) Los autores agradecen el apoyo recibido del CONSID (DGA P89/97) y de la Universidad de Zaragoza (Proyecto 267-39).

• • • • •

NOTAS

- (1) En Estados Unidos se estima que el coste medio por línea instalada con conmutación electromecánica fue de 600 dólares entre 1970 y 1975, calculándose a finales de los '80 unos 200 dólares, sin descontar la inflación (ANTONELLI, 1991).
- (2) Del inglés *Post, Telephone, Telegraph*.
- (3) Un claro ejemplo de esto lo tenemos en los distintos sistemas de precios que ofrecen las operadoras de telefonía, tanto móvil como fija.
- (4) Matemáticamente, $\delta b(t)/\delta s = -C_2 * f(t) * (F - f(t))/(F - (1-\sigma) * f(t))^2 < 0$.
- (5) Para una explicación más detallada de estos modelos ver JIMÉNEZ (1996).
- (6) Utilizando el contraste de fallo predictivo extramuestral y el test CUSUM. Sus expresiones son:

$$\sum_{j=1}^h v_{T+j}^2$$

donde v_t es el t-ésimo residuo estandarizado $\{1, \dots, T\}$ es el período de estimación (en nuestro caso $T = 1982 - 1937 + 1 = 46$) y h es el período de predicción extramuestral (en nuestro caso $h = 5$). Este estadístico se distribuye aproximadamente como una χ^2_{h-1} . En cuanto al test CUSUM:

$$h^{-1/2} \sum_{j=1}^h v_{T+j}$$

que se distribuye aproximadamente como una t_{T-h-d} .
(7) Dicho estadístico viene dado por la expresión:

$$\frac{\sum_{t=T-h+1}^T v_t^2}{\sum_{t=5+1}^{(d+h+1)} v_t^2}$$

donde v_t son los residuos estandarizados, d es el número de observaciones por las que se condiciona al calcular la verosimilitud (en nuestro caso 1 al haber 1 hiperparámetro varianza) y h es el entero más cercano a $(T-d)/3$ que en este caso es 16. Bajo la hipótesis de homocedasticidad y normalidad de los residuos este estadístico se distribuyen según una $F_{h,h}$.

• • • • •

BIBLIOGRAFÍA

- ANTONELLI, C. (1991): *The Diffusion of Advanced Telecommunications in Developing Countries*, Development Centre Studies, OECD, París.
- BLACKMAN, A. W. (1972): «A Mathematical Model for Trend Forecasts», *Technological Forecasting and Social Change*, número 3, páginas 441-452.
- BLACKMAN, A. W. (1974): «The Market Dynamics of Technological Substitution», *Technological Forecasting and Social Change*, número 6, páginas 41-73.
- BEWLEY, R. y FIEBIG, D. G. (1988): «A Flexible Logistic Growth Model with Applications in Telecommunications», *International Journal of Forecasting*, número 4, páginas 177-192.
- EASINGWOOD, C. J.; MAHAJAN, V. y MULLER, E. (1981): «A Nonsymmetric Responding Logistic Model for Technological Substitution», *Technological Forecasting and Social Change*, número 20, páginas 199-213.
- FISHER, J. C. y PRY, R. H. (1971): «A Simple Substitution Model for Technological Change», *Technological Forecasting and Social Change*, número 3 (mayo), páginas 75-88.
- FLOYD, A. (1968): «Trend Forecasting: A Methodology for Figure Of Merit», en *Technological Forecasting for Industry and Government: Methods and Applications*, J. BRIGHT (eds.), Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, páginas 95-105.
- HARVEY, A. C. (1989): *Forecasting, Structural Time Series and the Kalman Filter*, Cambridge: Cambridge University Press.
- JIMÉNEZ, J. (1996): *Difusión y sustitución de tecnologías de información y comunicación. Una aplicación empírica para el sector de la distribución comercial española*, Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza.
- KATZ, M. L. y SHAPIRO, C. (1985): «Network Externalities, Competition, and Compatibility», *American Economic Review*, número 75, páginas 424-440.
- KOOPMAN, S. J.; HARVEY, A. C.; DOORNIK, J. A. y SHEPHARD, N. (1995): *STAMP 5.0: Structural Time Series Analyser, Modeller and Predictor*, London: Chapman & Hall.
- KOTLER, P. (1971): *Marketing Decision Making: A Model Building Approach*, Holt, Rinehart and Winston, Nueva York.
- LOPEZ-TAFALL, J. J. (1995): «Las Telecomunicaciones: Un Sector Clave en las Economías Modernas», *Información Comercial Española*, número 740 (abril), páginas 13-29.
- MANSFIELD, E. (1961): «Technical Change and the Rate of Imitation», *Econometrica*, número 29 (octubre), páginas 741-766.
- MOTPM (1996): *Telecomunicaciones: 1991-1995*, Instituto de Estudios del Transporte y las Comunicaciones.
- ROOBECK, A. J. (1988): «Telecommunications: An Industry in Transition», en H. W. DE JONG (ed.), *The Structure of the European Industry*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht y Boston.
- SHARIF, M. N. y KABIR, C. (1976): «A Generalized Model for Forecasting Technological Substitution», *Technological Forecasting and Social Change*, número 8, páginas 353-364.
- SKIADAS, C. H. (1985): «Two Generalized Rational Models for Forecasting Innovation Diffusion», *Technological Forecasting and Social Change*, número 27, páginas 39-61.
- TORRES, P. (1995): «Cambio en la política de telecomunicaciones. Aspectos jurídicos y económicos», *ICE*, número 740 (abril), páginas 63-76.
- XIE, J.; SONG, X. M.; SIRBU, M. y WANG, Q. (1997): «Kalman Filter Estimation of New Product Diffusion Models», *Journal of Marketing Research*, volumen 14, (agosto), páginas 278-93.