

# ECONOMETRÍA Y PREDICCIÓN ECONÓMICA EN EL SIGLO XX

---

JOSÉ M<sup>a</sup>. CARIDAD Y OCERIN  
ACADÉMICO CORRESPONDIENTE

---

## Resumen:

La Econometría surge como disciplina con carácter propio a partir de la necesidad de conocer mejor los fenómenos económicos en los países desarrollados, cuando se produce la depresión de los años treinta. Nuevos métodos estadísticos tuvieron que ser desarrollados para estimar modelos multiecuacionales, y para los métodos de análisis de series temporales. Las aplicaciones a la vida real son múltiples: se presentan varias relativas al mercado inmobiliario, a la predicción del consumo de agua en Córdoba y en prospectiva electoral.

*Palabras clave:* modelos económicos, predicción, valoración urbana.

Predecir es difícil, especialmente el futuro (Proverbio chino).

Soluciones fáciles para problemas difíciles, no las conozco (Conde Romanones).

## INTRODUCCIÓN

En la vida hay temas que son complejos y de los que huyen la mayoría de los mortales; un experto que diserte sobre física atómica, biología molecular, o lógica matemática, rara vez será cuestionado en sus afirmaciones. Otros temas son triviales, y no merece la pena dedicarles esfuerzo, a pesar de lo que son los que mas tiempo consumen en las reuniones. Sobre una inversión millonaria, un consejo u órgano colegiado, rara vez cuestiona los datos presentados por su presidente, mientras que el cambio de uniforme de los conserjes suele originar agrias y largas polémicas. Finalmente, hay otros temas, en esencia complejos, pero en apariencia accesibles a todos, y sobre los que se escuchan las opiniones mas diversas, en gran medida irracionales, aun en personas que parecen no serlo. La Economía es uno de estos campos, en el que todo el mundo parece saber, al menos hasta la llegada del euro, y desde luego, en el que la inmensa mayoría de las personas se sienten capacitadas para emitir juicios categóricos, y, como no, para decidir en asuntos en los que no se juegan sus propios bienes, aunque su ignorancia sea, a veces, enciclopédica.

Las ideologías encuentran pues un campo abonado para su desarrollo, ya que la mayoría tienen un componente básico de organización económica de la sociedad, si bien la realidad es mas terca de lo que parece, como se ha apreciado en Europa de forma evidente en los últimos cincuenta años.

El positivismo y el desarrollo del método científico solo ha empezado a introducirse de forma sistemática en ambientes económicos a partir de la Gran Depresión de los años treinta. A partir de 1929 la bolsa de Nueva York cae; Estados Unidos había concedido numerosos créditos en los mercados internacionales, y se introdujo en una espiral proteccionista, culminados con los aranceles de la ley Hawley-Smoot (1930), que impedían a otros países devolver sus créditos, pues precisaban exportar al mercado americano, cerrado por dicha ley y por los contingentes de numerosos productos. Todos los países desarrollados intentaron exportar su paro protegiendo los mercados nacionales y buscando un superávit en sus cuentas exteriores, algo lógicamente imposible, provocando una drástica reducción del comercio internacional y un aumento de la depresión. El patrón oro agravó los problemas; Inglaterra que lo abandonó en 1931 inició antes su recuperación que Estados Unidos, Francia y Alemania. Si uno compara la situación de la crisis argentina, encuentra bastantes coincidencias, incluido la paridad peso-dólar, como un moderno patrón oro. Sin duda, el análisis histórico de los acontecimientos es la primera forma de poder anticiparnos al futuro.

J.S. Schumpeter, en su clásica *Historia del Análisis Económico*, plantea la cuestión sobre la naturaleza científica de la Economía. Su encuadre dentro de lo que se conoce como Ciencias Sociales, parece excluirla de esta denominación, si bien, cada vez mas los fenómenos económicos se miden cuantitativamente, incluso en el campo de la historia económica, por lo que la tendencia de los últimos treinta años hacia la cuantitización de los fenómenos económicos, hacen que la Economía deba considerarse cada vez mas como una ciencia positiva. La Econometría es la rama de la Economía en la que confluyen la Teoría Económica, macro y micro, la Estadística y la Matemática.

Estamos lejos de la *Oeconomicus* (casa y ley) de los clásicos de Grecia, que asociaban el saber económico al buen gobierno de la casa, o la *crematística* aristotélica (posesión o riqueza). Los griegos consideraban el saber económico con su filosofía general del estado y de la sociedad. Podemos encontrar fragmentos del pensamiento económico de los griegos en las obras de Platón (427-347 a.C.) y de Aristóteles (384-322 a.C.). Aristóteles no aceptó la idea platónica del estado originado a partir de la familia patriarcal, ni siguió plenamente con el contrato social de los sofistas. Los desarrollos teóricos en la Economía no empiezan en realidad hasta final del siglo XVIII. La publicación de *La riqueza de las naciones* (1776), por Adam Smith puede considerarse el punto de partida para el análisis económico. Junto con el *Ensayo sobre la población* de Malthus (1798), la publicación del primer volumen de *El Capital* de C. Marx (1867), y de la *Theory* de Jevons (1871) enmarcan el período correspondiente a la primera revolución industrial, y el inicio del pensamiento económico moderno, y de la posibilidad de predecir algunos de los cambios que se han producido en los últimos doscientos años, y desde luego, para explicar y comprender fenómenos económicos.

La evolución de la población ha preocupado desde la antigüedad. Durante siglos, la economía de subsistencia provocó que el aumento de población fuese considerado como un problema que hubo que resolver, incluso recurriendo al infanticidio. Es en la Edad Moderna cuando numerosos países europeos adoptan una actitud poblacionista, asociando el incremento de población a la creación de riqueza. Son bien conocidas las medidas casi dictatoriales de Colbert en Francia en este sentido. De hecho, algunos países como España y Alemania habían sufrido una despoblación intensa y consiguientemente no adoptaron las teorías maltusianas de la segunda mitad del XVIII y que se hicieron populares en Inglaterra durante el XIX. Las predicciones de Malthus sobre los problemas asociados al crecimiento de la población en el Reino Unido son un ejemplo de cómo deducciones que no tienen en cuenta los procesos dinámicos en los

sistemas económicos pueden fallar estrepitosamente. El crecimiento de la productividad, primero en la agricultura y posteriormente en el sector industrial permitieron un incremento sostenido de la población inglesa durante todo el siglo XIX con una mejora general del nivel de renta per cápita. Los mismos argumentos fueron esgrimidos casi dos siglos después en los conocidos informes del Club de Roma, de los que hoy nadie se acuerda sino para comprobar lo distantes de la realidad que estaban sus previsiones, de nuevo por no tener en cuenta los mecanismos autorreguladores de los mercados, a través de los procesos de transferencia de información mediante los precios. La situación actual respecto a problemas asociados a sobrepoblación no pueden ignorarse, pues sin duda ésta es la causante de numerosos problemas a escala mundial, desembocando en guerras (actuales y futuras), problemas medioambientales, inmigraciones y desplazamientos masivos de poblaciones, y distorsión en los sistemas económicos que tienden a estar cada vez más integrados a escala mundial. Solo basta mirar unos kilómetros más allá de Tarifa y observar los efectos que está causando el que la población norteafricana se haya duplicado en los últimos treinta años. Tan solo una política decidida de control de la natalidad en los países menos desarrollados, unido a una clarificación de sus sistemas legales (en la mayoría de estos países, no se puede hablar de otro sistema legal salvo la corrupción general del poder político) y de organización social, permitirían a una gran parte de la población mundial aspirar a un incremento de su nivel de vida. El ejemplo de China, y en menor medida, de la India, con un crecimiento espectacular de su producción de bienes y servicios en las dos últimas décadas que ha seguido a políticas de límite del crecimiento poblacional y en el inicio de establecimiento de un estado de derecho, al menos en el terreno económico. En la mayoría de los países con un crecimiento rápido de la población, este ha venido acompañado de numerosos problemas medio ambientales, de pobreza y de subdesarrollo.

## ECONOMETRÍA, ESTADÍSTICA Y PROBABILIDAD

La Econometría surge de la confluencia de la Teoría Económica con la Estadística. Los desarrollos de J.M. Keynes, y en especial la publicación de su *Teoría General* (1936) aceleran el proceso de medida de los fenómenos económicos. Numerosos métodos estadísticos e desarrollan bajo el impulso de las necesidades de modelización económica. Ambas disciplinas tratan de problemas de predicción, y se complementan en esta cometido, como se podrá apreciar más adelante. En estos años se crea la Econometric Society y se empieza a editar la revista *Econometrica*. Richard Stone sistematiza la medida de numerosas magnitudes que caracterizan las economías modernas, y que son necesarias para poder elaborar la política económica.

Pero para el desarrollo de los procesos de medida y modelización de las magnitudes económicas necesitaba de herramientas matemáticas y estadísticas, muchas de las cuales estaban siendo investigadas en la primera mitad del siglo XX, o posteriormente.

La *Estadística* es la rama de la Ciencia que permite extraer conclusiones útiles a partir de muestras, extrapolando resultados a colectivos. Las *estadísticas* son colecciones de datos que informan sobre aspectos económicos, sociales, industriales, etc. El *Cálculo de Probabilidades* es la herramienta matemática utilizada para medir la incertidumbre asociada a estimaciones o a nuestras decisiones.

El caballero de Meré planteó a Blaise Pascal (que consideraba la Matemática como un placer sexual) la siguiente pregunta: ¿porqué es más probable sacar al menos un 6 en 4 tiradas de un dado, que sacar al menos un doble 6 en 24 tiradas con dos dados? El desarrollo del Cálculo de Probabilidades se inició con problemas asociados a juegos,

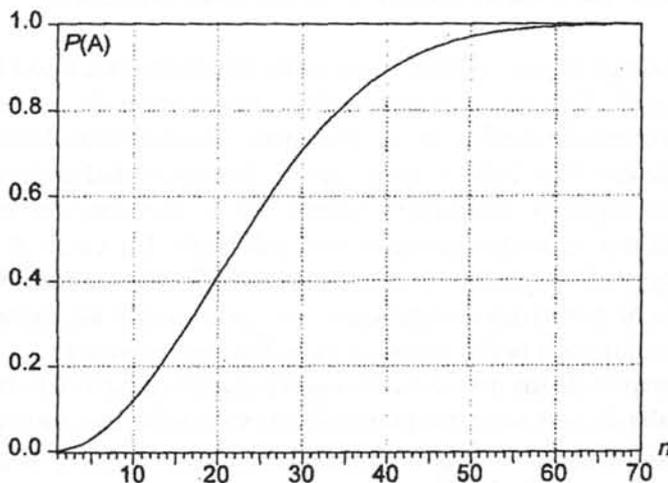
así como con cuestiones actuariales. Las probabilidades halladas por Pascal son 0.5181 y 0.4914. Si en una elección de un jurado se seleccionan 80 personas supuestamente al azar, y solo hay 4 mujeres, como la distribución entre sexos es aproximadamente del 50%, resulta que aun siendo posible, la probabilidad que esto ocurra es de  $0.14 \cdot 10^{-17}$ , es decir menos que el obtener en tres manos de poker seguidas la mayor escalera de color, que es  $0.36 \cdot 10^{-17}$ . Sin duda cualquier observador racional pensaría que la selección ha sido sesgada. En cualquier caso el manejo de magnitudes muy pequeñas o muy grandes no es fácil de evaluar; en el cálculo de probabilidades se usa unas teorías matemáticas conocidas con el nombre de Combinatoria; por ejemplo,  $20!$  es el número de ordenaciones posibles de 20 personas sentadas en un auditorio; este número es del orden del número de segundos que transcurren durante mas de 770 millones de siglos.

La evaluación de probabilidades como herramienta de predicción en el mundo real, no es un proceso intuitivo. Es mas, en numerosas ocasiones, las estimaciones de verosimilitud de ocurrencia de un suceso parecen contradecir el sentido común. Por ejemplo para predecir la probabilidad que en una reunión de  $n$  personas, al menos dos cumplan años el mismo día, se usa la expresión

$$P[\text{Coincidencia}] \cong 1 - \left( \frac{365}{365 - n} \right)^{365.5 - n} e^{-n}$$

Por ejemplo, para varios valores de  $n$  se tiene

$n = 22$	$P[\text{Coincidencia}] = 0.4757$
$n = 23$	$P[\text{Coincidencia}] = 0.5073$
$n = 50$	$P[\text{Coincidencia}] \cong 0.9704$



Un problema bien conocido sobre la naturaleza no intuitiva del Cálculo de Probabilidades para predecir resultados es la famosa paradoja de San Petersburgo, estudiada por Daniel Bernoulli (1700-82), residente en esta ciudad, por su relación con la reciente Academia creada por Pedro el Grande. Se trata de la estrategia de *doblarse* en cada jugada de una serie de apuestas hasta llegar a ganar por primera vez. Por ejemplo, si se apuesta una unidad monetaria a rojo en una ruleta se puede ganar, en cuyo caso termina el proceso, o perder, situación en la que se dobla la apuesta al rojo; si se gana, la ganancia total es de una unidad, y si se pierde, se apuestan cuatro unidades. Con este

proceso, la primera vez que se gana se recuperan todas las pérdidas y se dispone de una ganancia neta de una unidad. ¿Alguna vez saldrá caerá la bola en rojo?. El considerar procesos infinitos de posibles jugadas no es fácilmente comprensible, si no se estudia matemáticamente, y a pesar de su complejidad, no es recomendable realizar la prueba experimentalmente. Como dato, hay que señalar que la ruleta es de los juegos de azar menos perjudiciales para el jugador: la esperanza de pérdida por cada unidad monetaria apostada es de 0.027027..., es decir, algo inferior al 3%, y esta cantidad es independiente de cualquier estrategia que se use. Otros juegos, como el black jack, son, en teoría, ligeramente ventajosos para el jugador óptimo, que no se ha llegado todavía arruinar a ningún casino.

La predicción ha obsesionado a la humanidad desde siempre. Los antiguos egipcios observaron que la crecida del Nilo se producía poco después de aparecer la estrella Sirio en el horizonte; bastó pues convertirle en una divinidad y atribuirle un poder causal solo achacable por el azar de la posición relativa de esta estrella con respecto al Sol en la Vía Láctea. En la Biblia, se hacen numerosas referencias a acontecimientos futuros, interpretados de forma distinta por judíos, sus autores, y cristianos. Incluso Miguel Ángel situó en el mismo plano los profetas y las sibilas en la Sixtina. Otras predicciones mas próximas en el tiempo, de nuevo no presentan resultados concluyentes.

Para obtener información en el mundo real y poder predecir situaciones futuras, generalmente hay que estudiar conjuntos de objetos, de personas, de sucesos,... que en general son muy grandes. Por ejemplo, el número de personas que habitan en una ciudad, o que están en paro en un país, los votantes de un partido, el tamaño medio de las peras que se enlatan en conserva, la calidad de un producto industrial o de un servicio, el precio de una vivienda o de un vehículo de segunda mano, o calcular el IPC, etc. Como no es posible medir o analizar todos los elementos de los conjuntos que interesan, es necesario utilizar muestras para poder extrapolar o inferir resultados aplicables a toda la población.

A veces se investiga todo el colectivo como en unas elecciones o en un censo, pero tampoco es posible llegar a la totalidad de sus componentes, pudiendo ser mas exactos resultados muestrales.

Para que una muestra sea representativa de la población es necesario aplicar el principio de aleatoriedad, y existen diversos diseños para conseguir un máximo de información al mínimo coste. El sistema mas sencillo es el muestreo aleatorio simple, pero los mas usados son los diseños estratificados, por conglomerados o mixtos. Otra cuestión que se plantea es obtener la afijación óptima: ¿qué tamaño muestral es necesario para obtener una precisión determinada con una cierta confianza?. Por ejemplo, un candidato desea predecir sus resultados en unas elecciones y encarga una encuesta; se pregunta a 1000 personas y 450 contestan que le van a votar; por lo tanto la estimación de sus expectativas de voto es  $\hat{p} = 0.45$ ; ¿qué precisión merece esta estimación? Para responder a esta pregunta hay que calcular un intervalo de confianza para esta proporción; el intervalo de confianza 95% resulta ser  $0.45 \pm 0.031$ , es decir que la confianza que se tiene en que la verdadera y desconocida proporción  $p$  esté comprendida entre 0.419 y 0.481 es del 95%. ¿Qué quiere decir esta confianza? La respuesta es que si se realiza el muestreo correctamente y se repite muchas veces el cálculo de un intervalo similar, en el 95% de los casos  $p$  estará comprendida en él. Pero, ¿qué tamaño muestral sería necesario para aumentar la confianza del intervalo a 99%?. Si la población es grande, serían necesarias 1714 y la precisión seguiría siendo la misma. En ambos casos se supone que nuestro conocimiento a priori nos hace prever unos resultados del orden del 45%; si no se tuviera este dato, habría que aumentar el tamaño muestral a 1732

encuestas. Si se quisiera obtener una precisión de  $\pm 1\%$ , con una confianza del 99%, la muestra requeriría 16641 entrevistas.

En general, el cálculo del tamaño muestral depende del conocimiento a priori que se tenga de la población, y por lo tanto, si no se dispone de éste, será necesario realizar una encuesta piloto.

En muchos casos se observa que las encuestas realizadas en estudios de mercado, o en muchos temas corresponden a un tipo de diseño que se denomina muestreo oportunista. Shere Hite, en su libro *Mujeres y Amor*, envió mas de 100000 cuestionarios a organizaciones feministas; obtuvo un 4.5% de respuestas, de personas que deseaban manifestar sus opiniones. No es necesario ser experto en Estadística para rebatir los resultados. En las elecciones (en los E.E.U.U.) de 1936 el *Literary Digest* hizo una encuesta a unos 10 millones de personas, que dio por perdedor a Roosevelt con un margen del 20%, que fue precisamente el margen de su victoria; el sesgo hacia el partido republicano fue debido a que la parte de población que tenía teléfono o coche excluía a una fracción importante de los votantes. Una de las primeras encuestas políticas fue enviada por correos a 25000 trabajadores franceses en 1880; no se conoce que hubiera alguna respuesta; el cuestionario era largo y con preguntas complejas; su autor fue Carlos Marx.

El muestreo probabilístico se inició realmente a partir de la segunda Guerra Mundial.

El campo que abarca la Estadística no es solo hacia los estudios de opinión, que son necesarios para que funcione un sistema democrático y para la toma de numerosas decisiones económicas, médicas, etc. Por ejemplo, en 1954 se probó la vacuna de Salk contra la polio en 400000 niños demostrándose con un buen análisis estadístico su eficacia; hoy día la polio está casi erradicada.

La elaboración de modelos causales presupone que es posible predecir algunas magnitudes a partir de otras. Es bien conocido el llamado ciclo de la construcción, que se adelanta en unos meses a la evolución del resto de la economía. El método de estimación mínimo-cuadrático fue introducido por Gauss y Laplace en el cambio de siglo XVIII. Galton lo usó para estimar la altura de los hijos en función de la de sus progenitores, y concluyó que padres altos tenían hijos altos, pero con tendencia a ser menos altos, y, padres bajos, hijos bajos, pero menos bajos que ellos. Así pues detectó una regresión de la altura hacia valores medios. El término *regresión* se utiliza hoy día para los procesos de estimación de modelos causales, mientras que *correlación* se refiere a medidas de asociación entre variables, sin que la interdependencia implique relación causa-efecto.

Los modelos formados por una sola ecuación tratan de explicar la variabilidad de una magnitud,  $y$ , denominada *endógena*, en función de otras variables causales. Sin embargo, en numerosas situaciones económicas, es necesario recurrir a modelos mas complejos, pues requiere estimar simultáneamente varias relaciones o ecuaciones. Por ejemplo, si se desea conocer como se forman los precios en un mercado, es necesario investigar las funciones de demanda y de oferta, e incluir una identidad contable, como condición de equilibrio del mercado. Así pues, se puede formular un modelo con tres ecuaciones

$$\begin{aligned} O &= f(P, \mathbf{x}) + \varepsilon_1 \\ D &= g(P, \mathbf{z}) + \varepsilon_2 \\ O &= D \end{aligned}$$

A pesar de su simplicidad este modelo requiere un estudio mas profundo. Pensemos en una lonja de pescado, en la que las cantidades vendidas,  $Q$ , corresponden a la intersección de una curva de oferta con una de demanda. La variable  $P$  representa los precios a los que se ha vendido el pescado,  $x$  es el conjunto de variables que determinan la oferta, como por ejemplo el número de barcos pesqueros entrados en el puerto, y  $z$  representa las variables que influyen en la demanda, como la cantidad de dinero que están dispuesto a gastar cada día los compradores. Si se dispone de información estadística de las variables  $(Q,P,x,z)$  durante un conjunto de días suficientemente grande, o de un número adecuado de lonjas, se podrá abordar la estimación de estas funciones. Para ello se desarrollaron hace unos cincuenta años unos métodos específicos de estimación de modelos, a través de un grupo de economistas y estadísticos notables que formaron la Comisión Cowles, en la que se inicia el desarrollo de la Econometría moderna. Para estos modelos multiecuacionales, hoy día empleados por numerosos organismos y empresas, se tuvieron que investigar métodos de estimación específicos, que mejoran los conocidos asociados a los modelos de regresión. A partir de la década de los setenta los avances son continuos, y permiten representar situaciones reales cada vez mas complejas: modelos ARIMA, funciones de transferencia, análisis de intervención, modelos bilineales, modelos Lisrel o de variables latentes, modelos VAR, MARMA, ARCH, etc.

### APLICACIONES EN EL MUNDO REAL

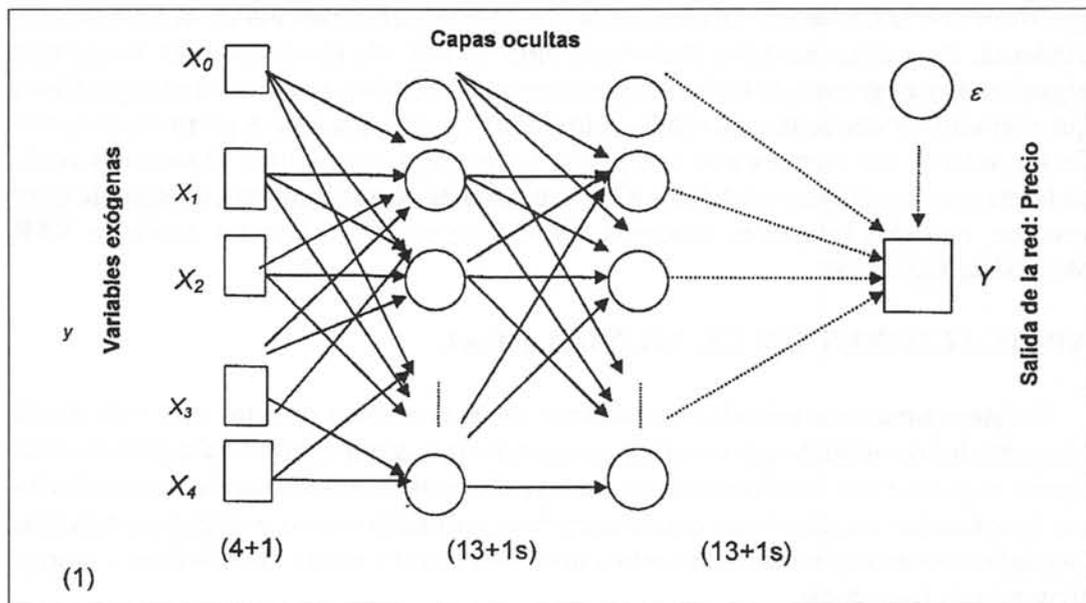
Existen numerosos métodos estadísticos con aplicaciones directas en la vida diaria. Los métodos de modelización permiten cuantificar relaciones entre variables en situaciones muy diversas. La Econometría incluye técnicas de modelización orientadas hacia la obtención de relaciones causales entre magnitudes macro o micro económicas. Las aplicaciones son numerosas tanto a nivel de estudios macro económicos como en el mundo de la empresa.

Supóngase que se desea conocer de forma objetiva el valor de una vivienda, y se considera que en éste influyen factores internos de ésta (metros cuadrados útiles,

Datos internos		Datos de la edificación y entorno	
BÁSICOS	Superficie	GENERALES	Entrada
	Dormitorios		Acceso al garaje
	Armarios	Estado del inmueble	
BÁSICOS	Baños	ACCESIBILIDAD	Ascensor
	Aire acondicionado		Planta
	Lavadero	EXTRAS	Antena parabólica
Despensa	Cable		
BÁSICOS	Office		Piscina
	ESTADO	SITUACIÓN	Barrio
			Renta del entorno
REFORMAS		Aparcamiento en zona	
VISTAS	Orientación		
ECONÓMICOS	Gastos de comunidad		
	Precio de venta		

número de habitaciones, estado general, número de baños, coste de la comunidad, servicios, ...) y de su entorno (zona de la ciudad, vistas, proximidad a medios de transportes y centros comerciales o educativos,...). En unos estudios realizados en Córdoba, se han tomado en los últimos años varios miles de transacciones, y se ha elaborado una red neuronal (un tipo de modelo no lineal) obteniéndose aquellas variables que son utilizadas por los compradores para definir lo que están dispuestos a pagar en la valoración.

En el caso de usar cuatro de las variables anteriores como explicativas del precio de la vivienda, con una red formada por dos capas ocultas de 13 neuronas por capa, se tiene el modelo:



La función de precios a estimar mediante esta red es de la forma

$$Precio = \omega_0 + \sum_{k=1}^{13} \omega_k \left[ 1 + \exp \left( \left[ -\omega_{k0} - \sum_{j=1}^{13} \omega_{kj} \left[ 1 + \exp \left( -\omega_{j0} - \sum_{i=1}^4 \omega_{ji} x_i \right) \right]^{-1} \right]^{-1} \right) \right]^{-1}$$

Este tipo de modelo permite calcular los precios marginales, de forma mas eficiente que los clásicos modelos hedónicos. La expresión derivada para el precio marginal correspondiente al factor  $i$ -ésimo.

$$\frac{\partial Price}{\partial x_i} = \sum_{k=1}^{13} \omega_k \frac{\partial u_k^*}{\partial x_i} = \sum_{k=1}^{13} \omega_k \sum_{j=1}^{13} \omega_{kj}^* \frac{\partial u_j^*}{\partial x_i} \frac{1}{1 + \exp(-net_k^*)} \frac{1}{1 + \exp(net_k^*)} =$$

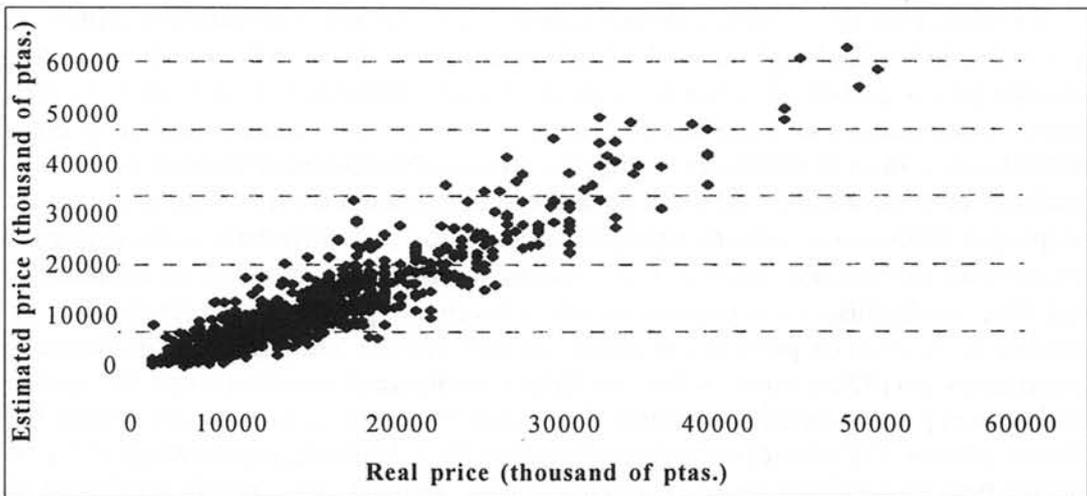
$$\sum_{k=1}^{13} \omega_k \sum_{j=1}^{13} \omega_{kj}^* \frac{1}{1 + \exp(-net_k^*)} \frac{1}{1 + \exp(net_k^*)} \omega_{ji} \frac{1}{1 + \exp(-net_j)} \frac{1}{1 + \exp(net_j)}$$

siendo  $u_j = \frac{1}{1 + \exp(-(\omega_{j0} + \sum_{i=1}^4 \omega_{ji} x_i))}$ ,  $u_k^* = \frac{1}{1 + \exp(-(\omega_{k0} + \sum_{j=1}^{13} \omega_{kj}^* u_j))}$  y

$$net_j = \omega_{j0} + \sum_{i=1}^4 \omega_{ji} x_i, \text{ y } net_k^* = \omega_{k0} + \sum_{j=1}^{13} \omega_{kj}^* u_j.$$

Por ejemplo, para evaluar el coste marginal de un metro cuadrado adicional, se observa una función hedónica cóncava para propiedades mas pequeñas, que se convierte en convexa a partir de un cierto tamaño. Así pues, al alcanzar los 125 m<sup>2</sup>, el precio marginal del metro cuadrado disminuye de forma acelerada.

El precio marginal de la preinstalación de aire acondicionado resulta ser del orden de 8900 €, y con el aparato, se incrementa en unos 1900 €, cantidades que son acordes con el mercado. De igual forma se valoran las distintas características asociadas a una



vivienda. Estas estimaciones pueden tener interés para varios tipos de colectivos: por el lado de la oferta, a los intermediarios del mercado inmobiliario, que pueden conocer las propiedades que serán objeto de venta con menor coste de gestión, así como con mayor margen de beneficio, y por el lado de la demanda, para los agentes individuales, como las familias o empresas, que disponen de herramientas objetivas para la valoración de su vivienda, o de la vivienda que les es ofertada. La tasación de propiedades dispone con este tipo de modelos unas posibilidades de objetivización desconocidas en el pasado, como puede ser para una valoración fiscal o judicial. Las administraciones públicas utilizan diversos métodos, que no se caracterizan por su sofisticación, para valorar inmuebles, solares, locales, etc., dado su interés en maximizar los ingresos fiscales (recuérdese la conversación mantenida por Volta con un diputado inglés: el primero le comentaba sus descubrimientos en el campo de la electricidad, y, ante la pregunta sobre su utilidad, Volta le indicó que no lo podía predecir, pero sí que le aseguraba que los políticos encontrarían la forma de recaudar impuestos sobre ésta). Así pues, el catastro puede usar metodologías para estimar el valor de las propiedades usando modelos econométricos que se aproximen de forma real a los valores de mercado, y, en otro sentido, los contribuyentes disponen de herramientas para argumentar objetivamente recursos contra valoraciones desproporcionadas.

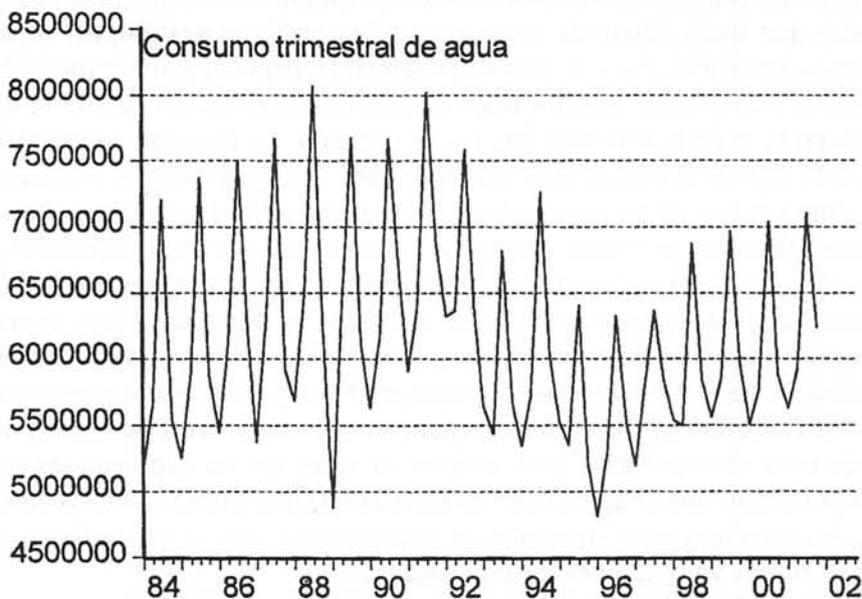
Otro ejemplo puede ser la segmentación de mercados en un estudio prospectivo: es posible encontrar grupos de consumidores potenciales homogéneos y diferenciados unos de otros; el objetivo puede ser la planificación de un esfuerzo comercial diferenciado en cada grupo.

En Medicina, hace unos años se planteó en Córdoba la predicción de los resultados de un tipo de operación de alto riesgo: algunos pacientes soportaban una intervención y otros no; se trataba de predecir antes de la operación el resultado de la misma, y así aplicar otro tratamiento a aquellos que no eran operables. En este caso se aplicó unas

técnicas de segmentación que proporcionaban unos resultados, en cuanto a la predicción de los resultados de la operación mucho mas precisos que los que se derivaban de la observación cualitativa de las historias clínicas. En los estudios epidemiológicos y de investigación médica, no hay revista científica que no exija un análisis estadístico riguroso antes de aceptar un trabajo para su publicación.

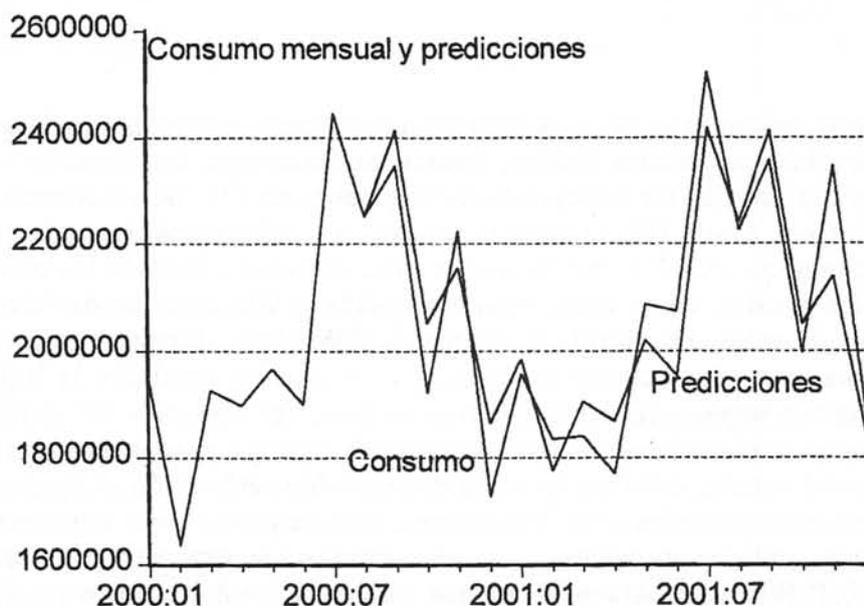
Otros modelos de aplicación inmediata son los métodos de predicción dinámica, basado en distintos modelos de análisis de series, desarrollados en las tres últimas décadas.

La predicción de las ventas de una empresa, o su consumo de materias primas, la evolución de los depósitos de una entidad bancaria, etc, son problemas que es preciso abordar para la gestión eficiente de los recursos y para planificación operativa. Existen numerosas técnicas econométricas de predicción dinámica, y vamos a mostrar las posibilidades de esta en el ámbito de la empresa. El sector de abastecimiento de aguas a las ciudades es un servicio público que generalmente es prestado a través de empresas de propiedad pública o privada en régimen de concesión administrativa. Estas empresas disponen de un mercado cautivo, la población abastecida, en régimen de monopolio. Por ello, la administración pública somete a los municipios y a estas empresas a un sistema de fijación de precios que deben ser sometidos a autorizaciones de diversos organismos. En principio, las tarifas son fijadas mediante un estudio prospectivo sobre los ingresos y gastos previstos durante el ejercicio o período al que se van a aplicar los nuevos precios. Por ello se precisan predicciones de la demanda, a corto plazo (12 a 18 meses) para la justificación de las citadas tarifas. Veamos como puede predecirse el consumo de agua en Córdoba.



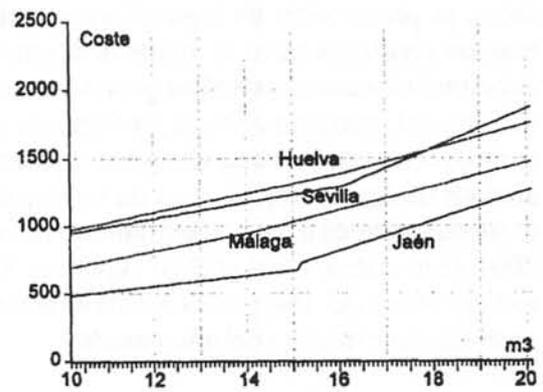
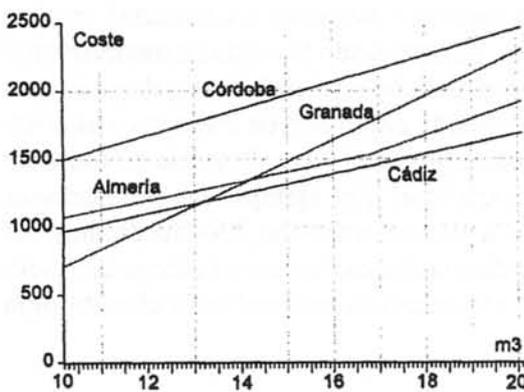
En primer lugar hay que decidir el intervalo de tiempo en el que se van a medir los datos. En el gráfico anterior, las observaciones son trimestrales y se trata de metros cúbicos consumidos, si bien cabe usar datos mensuales, semanales o incluso diarios. Tras un período de crecimiento, durante la década de los ochenta, se produce un descenso asociado a los años de sequía, para crecer posteriormente en los últimos ejercicios.

En 1970 se produce un hecho notable que ha afectado desde entonces los distintos métodos de predicción; se trata de la publicación del libro *Time series analysis, forecasting and control*, de los británicos G.E.P. Box y G.W.Jenkins. En él resumen varias técnicas conocidas de predicción y proporcionan un enfoque global del uso de series temporales en predicción. La influencia de este libro, que ha tenido varias ediciones, ha cambiado el panorama de los métodos de predicción, desarrollándose posteriormente numerosas técnicas adicionales, tanto de tipo lineal como no lineal, que han permitido casi abandonar los modelos clásicos, algunos de ellos, como los de medias móviles, usados desde la alta Edad Media en Italia, por los aseguradores de mercancías transportadas por mar. Hoy día el panorama es variado y rico, existiendo numerosos programas de ordenador para usar distintos tipos de modelos. No obstante estos programas requieren personal especializado. Una de las líneas de desarrollo que dirijo trata sobre la producción de logicial informático para que personas no expertas puedan realizar predicciones en el ámbito de la empresa, incorporando técnicas de modelización econométrica con desarrollos asociados a la Inteligencia Artificial. Este trabajo de predicción del consumo de agua en Córdoba está siendo empleado en estos nuevos desarrollos, con el objetivo de disminuir los errores de predicción combinando métodos de análisis de series con técnicas de inteligencia artificial. Por ejemplo las predicciones correspondientes a datos mensuales realizadas a mediados del año 2000 hasta final del 2001 se muestran en el gráfico siguiente. Las desviaciones durante el último ejercicio son del orden del 1%, y se deben básicamente a la situación anormal de la climatología en el último trimestre del año pasado.



Las predicciones anteriores se han realizado con modelos como los propuestos por Box y Jenkins, con unas correcciones basadas en el empleo de redes neuronales, como modelos no lineales de predicción para la corrección de errores. Los resultados que se han venido obteniendo en los últimos años han mostrado una alta precisión, y aparecen reflejados en un artículo recientemente publicado en la revista *Ingeniería del Agua*, y los nuevos métodos de predicción desarrollados están en fase de publicación en la revista *Computational Statistics and Data Analysis*.

Aunque se indicó que los métodos de predicción de consumo de agua en zonas urbanas se realizan en las diferentes empresas que abastecen a las ciudades, dado la necesidad de justificar la aplicación de un sistema de precios autorizados, los resultados deben ser muy variables a tenor de las diferencias más que significativas entre el coste del recibo del agua en diferentes localidades. En los gráficos siguientes se muestra la cantidad a pagar (por cuota de consumo y alquiler del contador, es decir excluyendo la cantidad habitualmente facturada por depuración de aguas residuales) en distintas capitales andaluzas, en función del consumo, considerando el intervalo más habitual de gasto mensual de agua (10 a 20 m<sup>3</sup>).



Un último comentario sobre la predicción de resultados electorales. En las elecciones presidenciales en Estados Unidos, durante las votaciones, las encuestas a pie de urna dieron a lo largo del día ventaja a Bush, llegando tener 371 votos electorales frente a los 240 de Gore, a las 2.18 h. Durante la votación, las cadenas anticiparon los resultados, y se estima que esto hizo perder varios miles de votos a Bush en los estados del oeste. Varios estados, como Iowa, New Hampshire o Wisconsin se decidieron por pocos miles de votos. En Florida la ventaja de G.W. Bush, durante el recuento fue disminuyendo hasta unos cientos de votos, y en resultados igualados la legislación local requiere un segundo recuento, como así se hizo. Las demandas del perdedor se centran, por un lado en obtener un recuento manual, en el que puedan *interpretarse* las intenciones del votante, como en los casos de una doble perforación en algunas papeletas. Una encuesta posterior, entre los electores, daba mayoría a Gore; algunos resultados en varios condados produjeron resultados distintos a lo esperado; por ejemplo en Palm Beach, P. Buchanan obtuvo 3407 votos, más del doble que en otros condados, lo que se achaca a su posición en la papeleta de votación, inmediatamente después de Bush y antes que Gore. Obviamente uno puede preguntarse sobre la objetividad de las encuestas postelectorales, y si no se trata de un diseño oportunista que desvía totalmente los resultados. Pero en definitiva, unas elecciones no es un tema estadístico, pues se da la oportunidad a todo el censo de población a manifestarse, es decir, se elimina el elemento de incertidumbre. El semanario *The Economist* (4-10 noviembre, 2000) recoge unos datos generales relacionados aparentemente con las elecciones presidenciales celebradas en los Estados Unidos de América desde 1952, que pretenden ser indicadores predictivos de los resultados finales.

Año	Cuello	Burdeos	Béisbol	Bolsa	Ganador
1952	Sin cambio		American	Baja	Republicano
1956	Sin cambio	Regular	American	Alza	Republicano
1960	Alza	Regular	National	Baja	Demócrata
1964	Alza	Bueno	National	Alza	Demócrata
1968	Alza	Regular	American	Alza	Republicano
1972	Baja	Regular	American	Alza	Republicano
1976	Alza	Bueno	National	Alza	Demócrata
1980	Alza	Regular	National	Alza	Republicano
1984	Baja	Regular	American	Baja	Republicano
1988	Baja	Bueno	National	Alza	Republicano
1992	Baja	Regular	American	Alza	Demócrata
1996	Alza	Bueno	American	Alza	Demócrata
2000	Baja	Bueno	American	Baja	

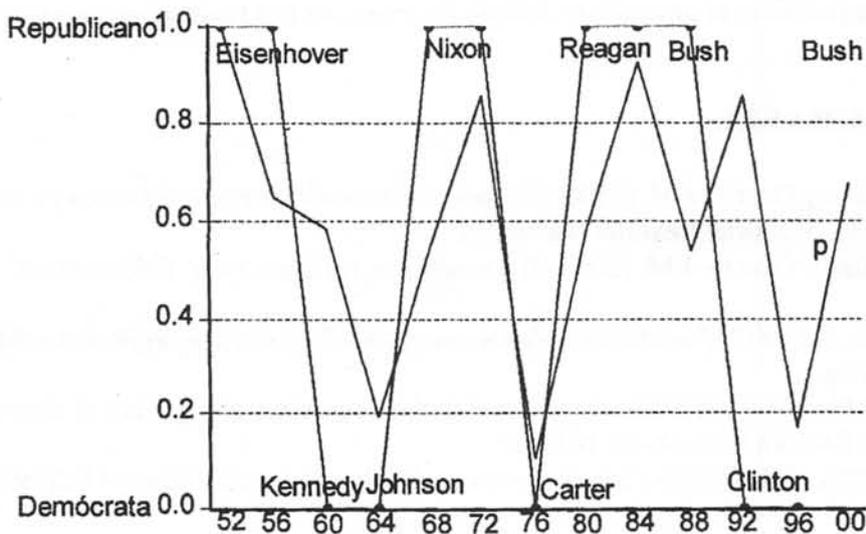
Los republicanos ganaron si en cada medida se producen o no cambios:

Ratio	Baja/sin c.	Regular	American	Alza y anterior del mismo partido
	9/12	8/11	8/12	8/12
Rdo.	Republicano	Demócrata	Republicano	Demócrata

Parece pues que estos indicadores sugieren un empate. No obstante puede intentarse mejorar la capacidad predictiva usando técnicas econométricas mediante la estimación de un modelo logístico en el que la variable endógena es el resultado electoral

	Coefficiente	Error st.	Estad.Z	p
Constante	1.50854	1.79971	0.83821	0.4019
CUELLO	-1.16834	1.26442	-0.92401	0.3555
BURDEOS	-1.78099	1.70708	-1.04329	0.2968
BEISBOL	-0.15566	1.62656	-0.09569	0.9238
BOLSA*ANTERIOR	-0.74083	2.28621	-0.32404	0.7459

Ninguna de las variables se detecta como estadísticamente significativa. Las predicciones que se obtienen aparecen en el gráfico: la línea roja muestra la probabilidad de ganar el candidato republicano (y su complemento a la unidad, el candidato demócrata).



La elección de Kennedy y la primera de Clinton no fueron previstas por el modelo, sin embargo la del G.W. Bush, aunque no de forma concluyente, si era previsible.

Así pues, parece deducirse que el modelo propuesto ha tenido en el pasado una capacidad predictiva mas que apreciable, y que podía haber predicho la victoria de Bush mejor que los índices publicados en *The Economist*. Obviamente, la selección de algunas variables *explicativas* en este modelo sería difícil de justificar en términos racionales. Aunque algunas de las variables consideradas, como la interacción entre el ocupante de la Casa Blanca y la Bolsa influyen en la opinión pública, otras variables son espurias.

El llamado *análisis técnico* para predecir las cotizaciones en el intra-día utiliza algunas técnicas estadísticas similares, en las que no parece haber una justificación clara en términos económicos, y, parece dar resultados, aunque no lo recomendaría como método de predicción.

## CONCLUSIÓN

La difusión de los ordenadores, a partir de la década de los sesenta ha originado progresos teóricos en numerosos campos considerados. En el terreno de la predicción económica existen hoy día numerosos programas de ordenador que permiten modelizar situaciones inabordables hace pocos años. Estos programas incorporan cada vez mas herramientas que simulan el comportamiento de expertos, para acercar su uso en el mundo empresarial y de la administración. Los progresos de los próximos años serán sin duda notables.

Finalmente hay que indicar que para la mayoría de las variables económicas, los métodos de predicción dinámica se usan en lo que se denomina el *corto plazo*, esto es, entre doce y dieciocho meses, siendo útiles para la gestión operativa y la planificación anual en numerosas empresas y administraciones. En algunos modelos dinámicos complejos se intenta que la predicción abarque varios ejercicios, con una gran dosis de incertidumbre. En el largo plazo, como dijo Keynes, *todos muertos*, por lo que el interés de realizar predicciones decae rápidamente. No obstante, los numerosos ejemplos de errores notables de predicción que se pueden encontrar en la literatura económica, desde Malthus al Club de Roma, pasando por Marx, la OPEP y la cotización del peso argentino, no es algo sin interés para los economistas, pues es una fuente inagotable de empleo, ya que son todavía mas numerosos los informes y trabajos profesionales que sirven para justificar el porqué han fallado las predicciones realizadas por otros economistas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Caridad y Ocerin, J.M. (1998) *Econometría: modelos econométricos y series temporales*. Editorial Reverté. Barcelona.
- Caridad y Ocerin, J.M. (2001-2) *Estadística Aplicada I y II*. Editorial DF. Córdoba.
- Hrbác, L. (1997) *Possibilities of economic modelling in a nonprofit sector*. MME97. Ostrava.
- Keynes, J.M. (1963) *Teoría general de la ocupación, el interés y el dinero*. Fondo de Cultura Económica. México.
- Malthus, T.R. (1966) *Primer ensayo sobre la población*. Alianza Editorial. Madrid.

- Marx, K. (1968) *El Capital*. Fondo de Cultura Económica. México
- Schumpeter, J.A. (1971) *Historia del análisis económico*. Ariel. Barcelona.
- Smith, Adam (1958) *Investigación sobre la naturaleza y causas de la riqueza de las naciones*. Fondo de Cultura Económica. México.
- The Economist. (2000) 6 de noviembre.