



---

# Comparación de modelos de curvas ROC para la evaluación de procedimientos estadísticos de predicción en investigación de mercados.

Pedro Concejero Cerezo

Tesis Doctoral dirigida por Rosario Martínez Arias

**Dpto. Metodología de las Ciencias del Comportamiento**

**Facultad de Psicología**

**Universidad Complutense de Madrid**

---



*Dos linajes solos hay en el mundo, como decía una agüela mía, que son el tener y el no tener (Sancho Panza)*

## **Agradecimientos**

Primero y sobre todo a Charo Martínez Arias, a quien debo toda mi formación, y a quien también debo su infinita paciencia y apoyo durante todos estos años, y todos estos cambios de tema. También pedirle que me disculpe mi tendencia a tenerlo todo en el último minuto.

A Walter, mis padres y mis hermanos, por su paciencia para ayudarme a acabar esto.

A Juan José Rodríguez, mi compañero de trabajo, sin quien no hubiera podido embarcarme en todo esto, porque yo he podido parar mientras el trabajo no puede.

Por último a los creadores de ese maravilloso programa que es el gnuplot, cuya versión ¡de 1993! he usado a plena satisfacción para muchos de los gráficos que aparecen en este trabajo. ¡Y es gratis! Hace palidecer a programas que cuestan millones.

(página en blanco)

# Índice

Agradecimientos .....	i
Índice.....	iii
Prefacio .....	vii

## PARTE TEÓRICA

1	Introducción.....	1
2	El problema de la fidelización del cliente en Marketing .....	9
2.1.	La evolución del Marketing hasta el Marketing relacional o CRM.....	10
2.1.1.	El Marketing mix, el Marketing transaccional y el Marketing directo .....	10
2.1.2.	El Marketing relacional o CRM .....	13
2.1.2.1.	Factores en los cambios de paradigma en Marketing.....	14
2.1.2.2.	La importancia del factor tecnológico .....	17
2.1.2.3.	Claves para la implantación del CRM .....	19
2.1.2.4.	El papel de los programas de fidelización .....	23
2.1.2.5.	El papel central de la fidelidad en el CRM.....	26
2.1.2.6.	La medida de la eficacia de los programas .....	30
2.2.	La fidelidad del cliente.....	31
2.2.1	¿Existe una definición operativa de fidelidad del cliente? .....	31
2.2.2.	Modelos conductuales y actitudinales de la fidelidad .....	41
2.2.2.1.	El modelo de Dirichlet de comportamiento heterogéneo del comprador .....	44
2.2.2.2.	Otros modelos conductuales de fidelidad .....	47
2.2.2.3.	Modelos actitudinales de fidelidad del cliente.....	51
2.2.3.	Medir la fidelidad .....	60
2.3.	Las tarjetas o programas de fidelización.....	64
2.3.1.	Evaluación de programas de fidelización.....	75
2.4	Conclusiones .....	79
3	Aplicaciones del análisis de curvas ROC .....	81
3.1.	El comienzo de las curvas ROC en Psicofísica.....	81
3.1	La dedicación de John A. Swets al análisis ROC para el diagnóstico .....	86
3.2	Aplicaciones del análisis ROC en Medicina.....	89

3.3	El análisis ROC y la detección temprana en Psicología Clínica.....	96
3.3.1	La detección temprana de trastornos psicológicos.....	100
3.3.2	Predicción del uso de los servicios de salud .....	101
3.3.3	Predicción del reintento de suicidio .....	104
3.3.4	Detección de adicciones .....	105
3.3.5	Análisis coste-beneficio en contextos clínicos.....	107
3.3.6	Predicción del maltrato .....	108
3.3.7	Otros estudios dentro de la Psicología Clínica.....	109
3.3.8	Aplicaciones en Psicología Educativa .....	110
3.4	El análisis ROC en Psicología Social y Forense .....	110
3.5	Aplicaciones del análisis ROC en tecnologías de la información.....	115
3.6	El análisis ROC en la investigación de mercados .....	118
3.6.1	Redes bayesianas para la modelización de la fidelidad y curvas ROC.	121
4	El análisis de curvas ROC .....	127
4.1	Introducción .....	127
4.2	Curvas ROC empíricas o no-paramétricas .....	136
4.2.1	Tipos de diseños de estudios de análisis ROC .....	136
4.2.2	El punto de partida: sensibilidad y especificidad .....	136
4.2.3	Aplicaciones de curvas ROC descriptivas para evaluar capacidad discriminativa de una herramienta de detección temprana: el caso del maltrato...	140
4.2.4	Cómo determinar un punto de corte óptimo.....	150
4.2.5	La importancia de la tasa de prevalencia.....	155
4.2.6	La relación entre sensibilidad y especificidad: curva ROC.....	157
4.2.7	¿Cómo se calcula y se interpreta el área bajo la curva ROC?.....	160
4.2.8	Estimación del área bajo la curva: técnicas no paramétricas.....	161
4.2.9	Contraste estadístico de curvas ROC empíricas .....	167
4.2.8	Tamaño de la muestra para el análisis de curvas ROC empíricas.....	169
4.3	Curvas ROC binormales .....	171
4.3.1	Contraste de hipótesis con curvas ROC binormales.....	174
4.3.2	Ejemplo de representación de curvas ROC binormales para la detección de redención de puntos en una tarjeta de fidelización .....	175
4.4	Comparación entre los procedimientos binormal y no paramétricos para el análisis de curvas ROC .....	179
4.5	Avances en la metodología de curvas ROC.....	180

4.6	Conclusiones .....	186
5	Medir la precisión o efectividad de un sistema diagnóstico: índices de eficacia...	189
5.1	Medidas de un sistema diagnóstico.....	192
5.2	Curva ROC y otros índices de medida de un sistema diagnóstico.....	194
5.3	Ventajas y desventajas del análisis de curvas ROC .....	203
5.4	Uso de las curvas ROC para la medida de la eficacia de un sistema diagnóstico. .....	204
5.5	Evaluación de la eficacia de algoritmos de clasificación.....	210
5.6	El <i>lift chart</i> .....	217

## PARTE EMPÍRICA

6	Modelos predictivos de la redención de puntos para una tarjeta de fidelización...	225
6.1	Objetivos e hipótesis .....	225
6.1.1.	Introducción: la tarjeta Travel Club .....	225
6.1.2.	Objetivos.....	226
6.1.3.	Hipótesis .....	227
6.2.	Método .....	228
6.2.1.	Participantes .....	228
6.2.2.	Aparatos, materiales y diseño experimental.....	229
6.3.1.	Exploración de los datos.....	230
6.3.1.1.	Variables sociodemográficas .....	230
6.3.1.2.	Variables de segmentación propias del negocio .....	234
6.3.1.3.	Variables relacionadas con el tiempo de inactividad en el programa de puntos .....	236
6.3.1.4.	Variables relacionadas con el número de patrocinadores a los que consumen los titulares .....	237
6.3.1.5.	Variables relacionadas con la obtención de puntos .....	239
6.3.1.6.	Variables relacionadas con la redención de puntos .....	241
6.3.2.	Indicadores relacionados con la conducta de redención.....	242
6.3.2.1.	Número de meses inactivo.....	242
6.3.2.2.	Variables de segmentación .....	244
6.3.2.4.	Edad y otras variables del cliente .....	245
6.3.2.3.	Total de puntos acumulados .....	247
6.3.3.	Análisis de curvas ROC sobre el indicador de puntos totales acumulados .... .....	249

6.3.3.1.	Curva ROC empírica y binormal .....	250
6.3.3.3.	Optimización del punto de corte para el modelo de curva ROC ajustado .....	254
6.3.3.4.	Capacidad predictiva del modelo de curva ROC.....	258
6.3.3.5.	Conclusiones provisionales.....	261
6.3.4.	Modelos estadísticos predictivos de la conducta de redención .....	262
6.3.4.1.	Proceso.....	262
6.3.4.2.	Regresión logística.....	264
6.3.4.3.	Árbol de decisión .....	266
6.3.4.4.	Comparación entre los dos modelos predictivos .....	268
6.3.5.	Comparación de la capacidad predictiva del modelo de regresión logística y del modelo de indicador único.....	269
6.4.	Conclusiones parciales .....	272
7	Discusión y conclusiones.....	275
7.1.	Limitaciones de este estudio .....	275
7.2.	Modelos de curvas ROC: conclusiones.....	276
7.2	La eficacia predictiva en el mundo real .....	278
7.3	Directrices futuras .....	279
BIBLIOGRAFÍA .....		283



# Prefacio

## Breve historia de mi interés por las curvas ROC

Le tengo que agradecer a Paloma Dorado que me propusiera ayudarla a analizar sus datos sobre los indicadores APACHE II y III de clasificación en la UCI. En aquel momento aprendí un montón sobre la regresión logística, pero lo que más me sorprendió fue encontrarme con el concepto de "curva ROC". Paloma me dijo que era el procedimiento estándar, y de hecho me proporcionó una bibliografía que luego me ha resultado muy útil para hacer esta tesis. Incluye, cómo no, los artículos clásicos de Hanley y McNeil (1982) y DeLong *et al.* (1988) que comentaremos en detalle en el capítulo 4.

Mi conocimiento sobre la curva ROC era que se trataba de un procedimiento clásico de la Psicofísica, que requería miles de ensayos, y que permitía establecer un umbral psicofísico. ¿Qué tiene esto que ver con el diagnóstico? Efectivamente, tiene mucho que ver, es más, rápidamente se descubre la potencia de la curva ROC empírica y su facilidad de implementación. Son estas propiedades las que sin duda lo han convertido en un procedimiento estándar en tantos campos.

Otra de las referencias clásicas es el libro de Swets y Pickett de 1982, pero era inencontrable. Mi directora de tesis sin embargo tenía un ejemplar (poco sorprendente por otro lado). Aun así, ¿cómo estimar las curvas ROC más allá de las ROC empíricas? ¿Qué era eso del papel "binormal" al que hacía referencia Swets en muchos de sus gráficos?

¿Qué me anima a seguir estudiando estos procedimientos? Durante el curso 2002-2003 realicé el máster en sistemas de información para la investigación de mercados (MSIM) en ESIC. Parte importante de este máster son los procedimientos de minería de datos. Esperé encontrar alguna aplicación del esquema que conocía, pero hallé muy poca. Y esto ha sido también una motivación esencial de esta tesis.

¿Por qué en investigación de mercados, en Marketing? Por su carácter multidisciplinar, cruce del estudio económico y conductual del consumidor, se trata de uno de los campos en los que la Psicología juega un papel significativo.

La aparición del software NCSS 2004 supuso el empujón final, sobre todo en tiempo, pues permite el análisis rápido tanto del modelo empírico como del binormal, así como la evaluación y comparación de modelos realizados en otros programas, puesto que cuenta con un magnífico módulo de importación de bases de datos de múltiples otros paquetes.

### **¿Qué tiene esto que ver con la Psicología?**

Esta es una duda que me ha asaltado al comienzo de la escritura de esta tesis. Debo decir en primer lugar que esta tesis es multidisciplinar, como creo que debe ser el trabajo de un psicólogo en campos aplicados, sean éstos el Marketing, la ergonomía, o la práctica clínica.

En primer lugar, la conducta del consumidor es obviamente objeto de la Psicología. En los problemas que se abordan en este trabajo se recogen indicadores o predictores indirectos de la conducta, pero que efectivamente son en sí mismo conductas. Una de las limitaciones de muchos estudios, denominados "conductuales", es que recogen únicamente la conducta observable, y por tanto nada cognitivo o "mental" que permita explicarla, o simplemente relacionarla con la anterior. Los estudios de este tipo son normalmente análisis a partir de grandes conjuntos de datos, mientras que los "actitudinales" están realizados mediante laboriosas encuestas y entrevistas, con muestras mucho menores. Ambos tipos de estudios deben ser complementarios, y de hecho, mostraremos que el concepto de fidelización debiera ser más psicológico, y sin duda debiera integrar datos de actitudes y respuestas a entrevistas o cuestionarios, que

aportarían mucho a la eficacia de los mecanismos presentados aquí. Porque una de las grandes ventajas del análisis de curvas ROC es que permite incluir cualquier tipo de dato o variable en su análisis, ya que incide sobre la capacidad predictiva del modelo, no sobre los orígenes de las variables que lo componen.

Por otro lado las curvas ROC son en sí mismas una metodología propia de la Psicología, aunque, como hemos visto, bastante poco aplicada fuera de contextos de diagnóstico, donde ha demostrado su enorme valor en otros ámbitos, especialmente en la Medicina.

No hemos de olvidar que las curvas ROC son una herramienta básica para la toma de decisiones, y no podemos dejar de insistir en la gran capacidad que muestran de resumir conjuntos grandes de información para esta toma de decisiones, incluso por parte de operadores de CRM. En este sentido mostraremos que las curvas ROC presentan las siguientes ventajas:

- permiten agregar información de forma tanto visual como numérica, permitiendo comparar la eficacia de diferentes predictores individuales o conjuntos de ellos.
- Permiten una fácil interpretación después de un sencillo entrenamiento.
- Permiten variar los puntos de corte o puntos a partir de los cuales se toma una determinada decisión.
- Son suficientemente simples como para ser calculadas de forma inmediata, o en el caso de la eficacia de modelos, en tiempos suficientemente breves como para que su uso se generalice más de lo que está ahora.

(página en blanco)

# PARTE TEÓRICA

