

MONOGRAFIES FME

Fent servir l'estadística

Què és i per a què serveix l'estadística a través de casos pràctics basats en projectes final de carrera

Editat per Pere Grima



Facultat de Matemàtiques
i Estadística

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

MONOGRAFIES FME

Fent servir l'estadística

MONOGRAFIES FME

Fent servir l'estadística

Què és i per a què serveix l'estadística a través de casos pràctics basats en projectes final de carrera

Editat per Pere Grima

FACULTAT DE MATEMÀTIQUES I ESTADÍSTICA
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

© 2008-2009
FACULTAT DE MATEMÀTIQUES I ESTADÍSTICA
Pau Gargallo, 5 — 08028 Barcelona

Fotocomposició, impressió i enquadernació
BARCELONA DIGITAL
c/ Rosselló, 77. 08029 Barcelona
Tel. 93-3638610

ISBN: 978-84-7653-216-4

Dipòsit legal: B-48384 -2008

Printed in Spain

Reservats tots els drets. Queda totalment prohibida la reproducció total o parcial d'aquest llibre per qualsevol procediment electrònic o mecànic, àdhuc fotocòpia, gravació magnètica o qualsevol sistema, sense el permís de la Facultat de Matemàtiques i Estadística.

Contingut

Índex d'autors	v
Presentació (<i>Sebastià Xambó, Degà de l'FME</i>)	vii
Això és estadística! (<i>Pere Grima, Vicedegà Cap d'Estudis d'Estadística de l'FME</i>)	ix
I. <i>Estudi de la literatura, la música i la pintura</i>	
1. Anàlisi estadística de l'estil literari. Discussió sobre l'autoria del <i>Tirant lo Blanc</i> . (<i>Susanna Cabos; Dir: Josep Ginebra</i>)	3
2. Anàlisi estadística de dades musicals: Estudi interpretatiu de l'obra "Träumerei" (R. Schumann). (<i>Josué Almansa; Dir: Pedro Delicado</i>)	17
3. Aplicació de tècniques estadístiques a l'estudi de l'art pictòric dels segles XV al XIX. (<i>Miquel Romero; Dir: Lúdia Montero</i>)	29
II. <i>Coneixement i protecció del medi ambient</i>	
4. Influència de les condicions climàtiques en el creixement dels arbres de pi roig a Catalunya (<i>Natàlia Adell; Dir: Llorenç Badiella; Tut: Josep Anton Sánchez</i>)	45
5. Cercant productes més nets i eficaços per lluitar contra les plagues dels fruiters (<i>Lourdes Roderó; Dir: Josep Ginebra</i>)	59
III. <i>Estudis de mercat</i>	
6. El disseny emocional: com crear productes que siguin atractius (i un exemple fent servir suc de fruites) (<i>Ana Gómez i Elisabeth Peralta; Dir: Lluís Marco</i>)	73
7. Formació de preus en el mercat elèctric: millors estratègies per compradors i venedors (<i>Elisenda Vila; Dir: F. Javier Heredia i Cristina Corchero</i>)	91
8. Estudi de mercat per definir les característiques d'una nova varietat de galetes de xocolata (<i>Sara Solanes; Dir: Lourdes Roderó</i>)	103
IV. <i>Millora de la qualitat</i>	
9. Reducció de defectes en el procés de producció d'un component d'automòbil. (<i>M^a del Mar Costa; Dir: Alexandre Riba</i>)	121

V. *Nous medicaments i millora del sistema sanitari*

10. Anàlisi de l'eficàcia d'un nou fàrmac contra la SIDA. (*Raquel López; Dir: Guadalupe Gómez i Núria Porta*) 139
11. Comportament de la demanda d'urgències hospitalàries i factors meteorològics associats (*Jordi Real; Dir: Josep Anton Sánchez i Aureli Tobías*) . . 151
12. Anàlisi de la mortalitat per tumors malignes de mama i d'estómac a Catalunya (*Xavier Puig; Dir: Josep Ginebra*) 167
13. Expectatives de complicacions postoperatòries en funció de característiques del pacient. (*Zahara Briones; Dir: Jaume Canet; Tutor: Erik Cobo*) . 185

VI. *Premsa i televisió*

14. Anàlisi de patrons i tendències en les votacions del festival d'Eurovisió (*Laura Marí; Dir: Lluís Marco*) 201
15. L'estadística a la premsa. Estudi crític (*Sara Fontdecaba i Maria Montón; Dir: Pere Grima*) 219
16. Previsió de la duració de les etapes de la *Vuelta Ciclista a España* (*Román Peñas; Dir: Alexandre Riba*) 235

Índex d'autors

Natàlia Adell (A): Influència de les condicions climàtiques en el creixement dels arbres de pi roig a Catalunya

Josué Almansa (A): Anàlisi estadística de dades musicals: Estudi interpretatiu de l'obra "Träumerei" (R. Schumann)

Llorenç Badiella (D): Influència de les condicions climàtiques en el creixement dels arbres de pi roig a Catalunya

Zahara Briones (A): Expectatives de complicacions postoperatòries en funció de característiques del pacient

Susanna Cabos (A): Anàlisi estadística de l'estil literari. Discussió sobre l'autoria del *Tirant lo Blanc*

Jaume Canet (D): Expectatives de complicacions postoperatòries en funció de característiques del pacient

Erik Cobo (T): Expectatives de complicacions postoperatòries en funció de característiques del pacient

Cristina Corchero (D): Formació de preus en el mercat elèctric: millors estratègies per compradors i venedors

M^a del Mar Costa (A): Reducció de defectes en el procés de producció d'un component d'automòbil

Pedro Delicado (D): Anàlisi estadística de dades musicals: Estudi interpretatiu de l'obra "Träumerei" (R. Schumann)

Sara Fontdecaba (A): L'estadística a la premsa. Estudi crític

Josep Ginebra (D): Anàlisi estadística de l'estil literari. Discussió sobre l'autoria del *Tirant lo Blanc* | Cercant productes més nets i eficaços per lluitar contra les plagues dels fruiters | Anàlisi de la mortalitat per tumors malignes de mama i d'estómac a Catalunya

Ana Gómez (A): El disseny emocional: com crear productes que siguin atractius (i un exemple fent servir suc de fruites)

Guadalupe Gómez (D): Anàlisi de l'eficàcia d'un nou fàrmac contra la SIDA

Pere Grima (D): L'estadística a la premsa. Estudi crític

F. Javier Heredia (D): Formació de preus en el mercat elèctric: millors estratègies per compradors i venedors

Raquel López (A): Anàlisi de l'eficàcia d'un nou fàrmac contra la SIDA

Lluís Marco (D): El disseny emocional: com crear productes que siguin atractius (i un exemple fent servir suc de fruites) | Anàlisi de patrons i tendències en les votacions del festival d'Eurovisió

- Laura Marí (A):** Anàlisi de patrons i tendències en les votacions del festival d'Eurovisió
- Lídia Montero (D):** Aplicació de tècniques estadístiques a l'estudi de l'art pictòric dels segles XV al XIX
- Maria Montón (A):** L'estadística a la premsa. Estudi crític
- Román Peñas (A):** Previsió de la duració de les etapes de la *Vuelta Ciclista a España*
- Elisabeth Peralta (A):** El disseny emocional: com crear productes que siguin atractius (i un exemple fent servir suc de fruites)
- Núria Porta (D):** Anàlisi de l'eficàcia d'un nou fàrmac contra la SIDA
- Xavier Puig (A):** Anàlisi de la mortalitat per tumors malignes de mama i d'estómac a Catalunya
- Jordi Real (A):** Comportament de la demanda d'urgències hospitalàries i factors meteorològics associats
- Alexandre Riba (D):** Reducció de defectes en el procés de producció d'un component d'automòbil. | Previsió de la duració de les etapes de la *Vuelta Ciclista a España*
- Lourdes Rodero (A) (D):** Cercant productes més nets i eficaços per lluitar contra les plagues dels fruiters | Estudi de mercat per definir les característiques d'una nova galeta de xocolata
- Miquel Romero (A):** Aplicació de tècniques estadístiques a l'estudi de l'art pictòric dels segles XV al XIX
- Josep Antón Sánchez (T) (D):** Influència de les condicions climàtiques en el creixement dels arbres de pi roig a Catalunya | Comportament de la demanda d'urgències hospitalàries i factors meteorològics associats
- Sara Solanes (A):** Estudi de mercat per definir les característiques d'una nova galeta de xocolata
- Elisenda Vila (A):** Formació de preus en el mercat elèctric: millors estratègies per compradors i venedors
- Aureli Tobías (D):** Comportament de la demanda d'urgències hospitalàries i factors meteorològics associats

(A): Autor. (D): Director. (T): Tutor.

Quan el director d'un projecte no és professor de la UPC (això pot passar quan el projecte es fa en una empresa o institució, en la qual l'estudiant fa pràctiques com a becari) un professor de la UPC actua com a Tutor i vetlla pel rigor acadèmic i formal del projecte.

Presentació

La percepció superficial que sovint es té de l'estadística no es correspon amb la seva rellevància en el món actual, ni amb la demanda efectiva que hi ha de professionals d'aquesta disciplina. És per tant un motiu de satisfacció per a la Facultat de Matemàtiques i Estadística (FME) de la Universitat Politècnica de Catalunya poder oferir una obra que pot contribuir substancialment a canviar aquesta percepció.

Aquesta contribució està en sintonia amb el desig del centre d'oferir a l'alumnat la possibilitat de seguir algun dels seus estudis. En el cas de l'estadística, l'FME inicià, fa quinze anys, els de la Diplomatura d'Estadística, els quals posteriorment es van ampliar amb els de la Llicenciatura en Ciències i Tècniques Estadístiques i els del Màster en Estadística i Investigació Operativa.

L'estadística té un paper fonamental per avançar en el coneixement de gairebé tot, des de la recerca de nous medicaments fins als estudis sobre salut pública, dels estudis de mercat fins al control de qualitat, de l'anàlisi del medi ambient fins a estudis sobre literatura, música o pintura.

En aquesta obra es descriuen setze casos tractats en projectes de final de carrera que donen una visió general de les possibilitats d'aplicació de l'estadística. Esperem que el professorat de secundària el trobarà útil per inspirar les seves tasques i, havent procurat usar el llenguatge menys tècnic possible, també esperem que ho serà per a un ampli públic, incloent-hi els estudiants de batxillerat.

Sebastià Xambó
Degà de l'FME
Octubre de 2008

Això és estadística!

Tots aquells que han cursat alguna de les titulacions d'estadística (Diplomatura, Llicenciatura o Màster) a la Facultat de Matemàtiques i Estadística de la UPC han realitzat un projecte final de carrera com a part de la seva formació. En aquest projecte, que també es presenta en públic, han de demostrar ser capaços de dur a terme un estudi estadístic com els que aquí es presenten.

Molts d'aquests treballs són excel·lents¹, reflecteixen molt bé què és i per què serveix l'estadística, i d'alguns d'ells se'n deriven publicacions en revistes científiques, i d'altres formen part de línies de recerca més generals que han donat importants resultats. Realment és una llàstima que aquests projectes dormin el somni dels justos a la biblioteca de la Facultat, i només siguin consultats, de tant en tant, per algun estudiant que vol saber si els annexos s'han de posar abans o després de la bibliografia (per exemple).

Per altra banda, moltes persones, i entre elles els estudiants de batxillerat que han d'escollir els estudis que seguiran, tenen una visió molt reduïda (mitjanes, enquestes i percentatges) o fins i tot deformada, de què és i per què serveix l'estadística.

L'estadística estudia com recollir dades (quantes?, de quina manera?) i com analitzar-les per treure la informació que ens permeti respondre a les preguntes que ens plantejem, ja sigui en l'àmbit de la medicina, de la sociologia, de la psicologia o de la ciència en general. Es tracta d'avançar en el coneixement a partir de l'observació i l'anàlisi de la realitat d'una forma intel·ligent i, alhora, objectiva. És l'essència del mètode científic.

I una bona forma de veure-ho és a través d'aquests projectes. El què aquí s'inclou no són els seus resums, sinó una explicació que vol donar una visió general de quin és el context del problema, quines dades calen, com s'obtenen, i unes pinzellades de com s'han analitzat i quines conclusions s'han obtingut. L'extensió de cada una d'aquestes parts no és proporcional a la seva extensió o a la importància que se li dona en el projecte. En alguns d'ells, el projecte tracta sobre quins són els millors models o les millors tècniques per analitzar les dades però aquí no s'entra en aquests detalls (difícils d'entendre si no s'és especialista) i s'ha donat només una visió molt general d'aquests aspectes.

Els projectes s'han seleccionat sense un criteri massa definit, però per una banda hem volgut que surtin representats diferents àmbits d'aplicació, alguns que podríem denominar clàssics, com ara la medicina, el màrqueting o l'ecologia, i d'altres més

¹ Amb dades : El 77% dels projectes final de carrera de la Diplomatura i la Llicenciatura d'Estadística presentats en els 5 últims cursos (2002-03 al 2007-08) han obtingut una qualificació de 9 o superior.

sorprenents, com la pintura, la música i la literatura. Hi ha projectes sobre temes que preocupen, com el que tracta de l'anàlisi de l'eficàcia d'un nou fàrmac contra la SIDA, i d'altres sobre temes més lúdics, com els patrons que segueixen les votacions al festival d'Eurovisió, però sempre amb el mateix rigor en la recollida i el tractament de les dades.

Evidentment, el mèrit d'aquesta feina correspon als seus autors (i directors i tutors), però si alguna explicació ha quedat a un nivell massa elevat i no s'entén prou bé, o si d'altres estan massa descafeïnades i no s'arriba a apreciar el treball o les aportacions que s'han fet, això és culpa nostra, que hem forçat un estil, i hem corregit i retocat alguns originals explicant les coses com nosaltres pensàvem que s'havien d'explicar (naturalment, al final, els autors han donat el vist i plau, segurament alguna vegada pensant que no els quedava més remei...)

Quan parlo de nosaltres, en aquest apartat de culpes, em refereixo a mi mateix, però també (ningú vol totes les culpes per a ell sol) a la Maria Montón, una estudiant que mentre ha fet l'últim curs de la Llicenciatura, ha col·laborat com a becària en les tasques de coordinació d'aquesta publicació i també ha aportat iniciatives i propostes que han millorat molt el seu contingut.

Les tres titulacions d'estadística de les que parlava al principi estan immerses en un procés de canvi. El màster, que va néixer com una titulació de la UPC, s'ha convertit aquest curs 2008-2009 en un màster interuniversitari impartit conjuntament amb la UB. I amb el procés d'adaptació a l'Espai Europeu d'Educació Superior (acords de Bolonya) desapareixeran els estudis de Diplomatura i Llicenciatura, convertint-se en els nous estudis de Grau. Estem treballant en el disseny d'un Grau d'Estadística organitzat i impartit conjuntament amb la Universitat de Barcelona, on, al igual que en el màster, s'aprofitin les àrees d'expertesa i els recursos de totes dues universitats, creant una titulació de referència, amb una orientació aplicada i que doni unes bases sòlides per formar excel·lents professionals.

Esperem que aquests textos, que aborden problemes típics on l'estadística té un paper protagonista, ajudin a entendre millor les seves possibilitats i els camps on es pot aplicar.

Pere Grima
Vicedegà Cap d'Estudis d'Estadística de l'FME

**Estudi de la literatura,
la música i la pintura**

1

Anàlisi estadística de l'estil literari. Discussió sobre l'autoria del *Tirant lo Blanc*

Projecte realitzat per: **Susanna Cabos Ruiz**
Dirigit per: **Josep Ginebra Molins**

L'objectiu de l'anàlisi estadística de l'estil literari, l'anomenada estilometria, és buscar característiques quantificables de l'estil d'un text –de les que segurament el mateix autor no n'és conscient– i aprofitar-les per comparar-lo amb l'estil d'altres textos. Sovint l'objectiu final és determinar la seva autoria, i en aquest cas les característiques escollides han de ser pròpies de l'autor i no del gènere o de l'època en què el text va ser escrit, per no confondre l'efecte de l'autor amb els efectes d'altres factors.

L'anàlisi de l'estil literari d'una obra es pot dur a terme per diferents camins, però les eines de resolució del problema encara no estan del tot estandarditzades. Fins la realització d'aquest projecte pràcticament tota la recerca s'havia fet sobre aplicacions a textos anglesos, alemanys i, en menor mesura, francesos i clàssics.

Amb l'arribada dels escàners i els programes de reconeixement òptic de caràcters (OCR) es va produir una explosió en l'aplicació d'aquestes tècniques i un dels objectius del treball que aquí es comenta era adaptar-les al català i aplicar-les a la qüestió de l'autoria del "Tirant lo Blanc".

Estilometria i autoria

Els problemes de determinació de l'autoria d'un text d'escriptor desconegut o disputat es poden classificar en tres grans famílies:

1. Per una banda es troben aquells casos en els que es disputa l'autoria d'un text entre dos o més autors i disposem de textos d'aquests autors que són "comparables" amb el text de paternitat discutida. Un exemple d'aquesta categoria és l'estudi dels *Federalist Papers*, una col·lecció d'articles escrits entre 1787 i 1788 per Hamilton, Jay i Madison per recolzar l'aprovació de la constitució americana i publicats tots ells sota un mateix pseudònim. Dels 77 articles es coneix qui n'és l'autor de 65, però els altres dotze es poden atribuir tant a Madison com a Hamilton. Fent servir altres articles escrits per Madison i Hamilton, s'arriba a la conclusió que els articles disputats s'haurien d'atribuir a Madison.
2. En un segon grup es troben aquells problemes on hi ha un candidat a ser l'autor, del qual es disposa de textos "comparables" al text disputat, i candidats alternatius dels quals no es disposa de textos reconeguts, o bé es disposa de textos que no serveixen per comparar (perquè són de gèneres o èpoques diferents). Un exemple d'aquest problema són les anàlisis per investigar si les obres de Shakespeare podrien haver estat escrites per Bacon. A partir de l'anàlisi estadístic de certes característiques es troben diferències entre els estils de Shakespeare i Bacon, però semblen ser més degudes a l'existència de dos gèneres diferents, la poesia i la prosa, que a la possible existència de dos autors. Un exemple de la literatura catalana és el plantejat per en Josep Guia al voltant de *Tirant lo Blanc* i la hipotètica autoria de Joan Roís de Corella. En aquest cas, la feina de l'estadístic és determinar si la variabilitat de les característiques estilístiques estudiades és més gran entre trossos escrits per dos autors diferents que entre trossos escrits per un mateix autor.
3. Per últim, un tercer grup de problemes són els que tracten d'estudiar l'homogeneïtat d'estil d'un text, és a dir, intentar detectar canvis d'estil dins del mateix text. Aquests canvis podrien ser deguts a canvis d'autoria, a una evolució temporal de l'estil de l'autor en l'obra o degut a un esdeveniment puntual en la seva biografia. Dos exemples clàssics són els plantejats al voltant de la hipotètica existència de més d'un autor al *Llibre d'Isaïes* i a les *Epístoles de Sant Pau*. En la literatura catalana, l'exemple més estudiat és el de la possible existència d'una frontera d'estil dins del *Tirant lo Blanc*. Aquests tipus de problemes són els de més difícil aproximació i els menys tractats en la literatura estadística.

Quantificació de l'estil literari

La manera més habitual de quantificar l'estil d'un text és utilitzar les freqüències d'ús d'unitats lingüístiques fàcils d'identificar, fàcils de comptar i difícils de controlar conscientment per l'autor. La identificació i mesura d'aquestes unitats ha d'estar molt ben definida de forma que no hi hagi ambigüitats en el seu recompte i aquest es pugui dur a terme utilitzant un ordinador amb el programari adequat. Algunes unitats que poden ser emprades són:

- *Nombre de lletres per paraula*

La gràcia d'aquesta unitat és que és molt fàcil de comptar de forma automàtica, però alguns especialistes consideren que és poc fiable quan es comparen dos autors perquè les diferències sovint són més grans entre gèneres que entre autors.

- *Nombre de síl·labes per paraula*

És més difícil de comptar automàticament, especialment en llengua catalana, que té regles per diftongs i dièresis complicades de reconèixer. Els estudis fets fins aleshores (cap, però, en llengua catalana) mostraven una forta correlació entre els resultats d'aquesta mesura i l'anterior i per aquest motiu es va decidir utilitzar només la primera.

- *Llargada de la frase*

La llargada s'acostuma a mesurar en nombre de paraules per frase i és habitual considerar com a frase tot el que acaba amb un punt, un signe d'interrogació o un signe d'exclamació. Com que la puntuació queda sota el control conscient de l'autor o de l'editor, aquesta resulta ser una qüestió molt important en el cas dels textos medievals, ja que la puntuació no s'introdueix fins molt tard i és obra d'un editor (per tant, no ens serà útil en aquest cas).

- *Distribució de les parts del llenguatge*

Una altra possibilitat és comparar proporcions d'ús de noms, verbs, adjectius, preposicions, conjuncions, articles i altres parts del llenguatge. La gent cultivada fa servir més substantius, i una actitud més activa es tradueix en un percentatge de verbs més alta. El desavantatge d'aquesta variable és que no és fàcil reconèixer automàticament la funció de les paraules.

- *Freqüència d'ús de paraules eina*

La proporció d'ús d'algunes paraules varia molt en diferents obres d'un autor, mentre que altres paraules presenten molta estabilitat en totes les seves obres. A l'hora de discriminar entre autors necessitem paraules tals que la seva presència sigui tan independent com es pugui del context, per no confondre l'efecte autor amb l'efecte context. Aquestes paraules en francès s'anomenen "*mots outil*", en

anglès “*function words*” i que en aquest projecte es van traduir al català com “paraules eina”. En el problema dels *Federalist Papers* els dos candidats són ben coneguts i, per tant, es poden triar les paraules eina entre les que discriminen millor els estils de Hamilton i Madison, partint de textos que se sap qui dels dos ha escrit.

- *Ús de parelles de paraules (sinònims)*

Alguns autors compararen la freqüència relativa d'ús entre parelles de paraules, sovint sinònimes. En anglès, per exemple, s'ha comparat la proporció d'ús de “*that*” respecte de “*this*”, “*and the*” respecte de “*and*”, “*to be*” respecte de “*to*”, o bé “*not only*” respecte de “*not*”. El mèrit de l'ús d'aquestes variables depèn de l'elecció de les parelles a estudiar. En el cas dels *Federalist Papers*, es va descobrir que Hamilton tenia tendència a fer servir “*while*”, mentre que Madison es decantava per “*whilst*”, i això es va aprofitar per atribuir l'autoria dels textos disputats. Seria bo disposar de llistes de parelles de paraules potencialment útils per a estudis d'estil en català.

També es poden utilitzar altres formes més sofisticades de quantificació. Tot i que en aquest projecte no es va fer servir, es pot caracteritzar la riquesa i diversitat de tot el vocabulari d'un text o autor determinat fent un inventari de totes les paraules emprades i comptabilitzant el nombre d'ocurrències de cada tipus, o modelant l'ordre d'aparició del vocabulari i d'altres unitats lingüístiques.

Obtenció de les dades per l'anàlisi de l'estil del *Tirant lo Blanc*

Es vol aplicar l'anàlisi estadística de l'estil literari al problema d'autoria del *Tirant lo Blanc*, una novel·la cavalleresca escrita en valencià per Joanot Martorell a finals de segle XV. Es creu que l'obra la va acabar d'escriure Martí Joan de Galba, però no es té seguretat d'aquest fet.

Elecció dels textos

Un primer problema important era decidir quin text convenia fer servir per aquest estudi. La primera idea va ser treballar amb l'edició original, de 1490, però aquesta no tenia cap mena de puntuació, deixant d'ésser viable l'estudi de la llargada de les frases ja que no es podia determinar quan acabava una i començava una altre. A més, escollir el text original sense tenir coneixement del vocabulari d'aquella època presentava un gran problema a l'hora d'escollir els camps que composarien la freqüència d'ús de les paraules eina. Per últim, en el text original una mateixa paraula apareixia escrita de maneres molt diferents degut a que els impressors transcrivien els textos sense fixar-se en la ortografia pròpia de la paraula. Per tot això, al final va ser escollida l'edició apareguda a la col·lecció “*Millors Obres de la Literatura Catalana*” (MOLC) d'Edicions 62, editada per Martí de Riquer.

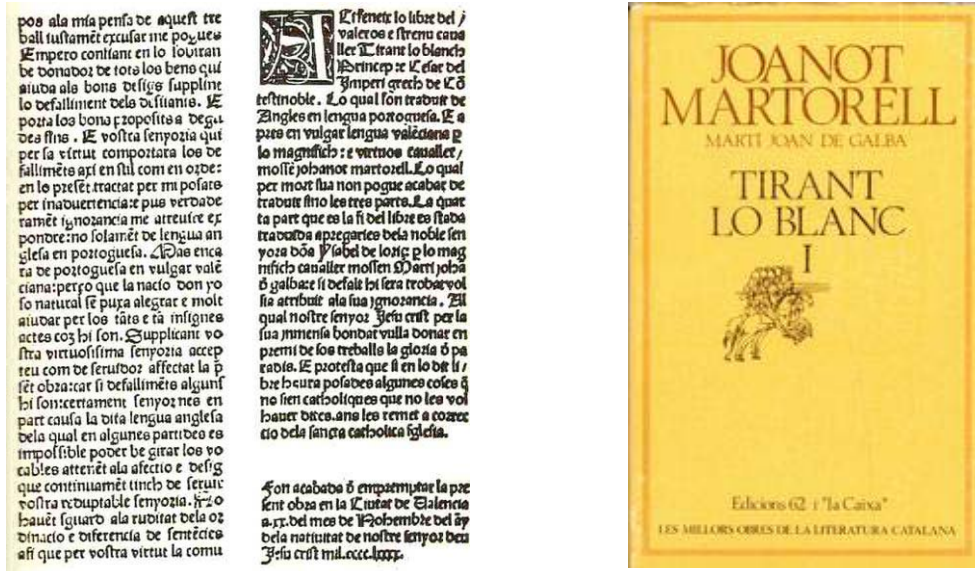


Figura 1: Pàgina introductòria de l'edició original del *Tirant lo Blanc* (Font: Wikipedia) i portada de l'edició que s'ha fet servir, amb tipografia actual.

Per comparar l'estil del *Tirant lo Blanc* amb l'obra de Joan Roís de Corella (1435-1497) es va escollir l'obra en prosa religiosa *Historia de Josef*, editada per en R. Miquel i Planas l'any 1913. Possiblement no va ser normalitzada segons la normativa actual (Pompeu Fabra) com en el cas de l'edició utilitzada del *Tirant* i això podia portar problemes a l'hora d'interpretar diferències entre resultats. Però el mateix Josep Guia va ser qui ens va suggerir fer servir aquesta obra, suposant que aquesta seria una de les obres d'en Corella més plagiades pel *Tirant*.

Una altra dificultat que es va haver de sortejar va ser el fet de no disposar del text en suport informàtic sobre el qual poder fer els estudis estadístics necessaris. Per tant, es van haver d'entrar mostres del text via escàner i basar l'estudi en elles.

En l'edició utilitzada de *Tirant lo Blanc*, Martí de Riquer va classificar els 487 capítols de l'obra en cinc parts. Com a mostra de l'obra, es van introduir i tractar en suport informàtic els deu blocs que corresponen als començaments i finals de cada una de les cinc parts del *Tirant*. Aquests blocs vénen etiquetats com a 1a, 1b, 2a, 2b, 3a, 3b, 4a, 4b, 5a i 5b, i estan descrits a la Taula 1. Dels capítols estudiats es van eliminar els títols i tot el què en l'edició de les MOLC apareix en cursiva, inclou lletres de batalla i citacions d'altres autors. Per comparar els estils de *Tirant lo Blanc* i de *Història de Josef*, es van agrupar les deu unitats del *Tirant* en tres grans blocs (Ti_123, Ti_4567, Ti_890), tal com s'indica a la mateixa Taula 1. A més, es va afegir un bloc amb els capítols al voltant del 154, (Ti_fron) on, segons Josep Guia acabaria la influència de Martorell sobre l'obra.

Taula 1: Descripció de les parts del Tirant lo Blanc que s'han fet servir en l'estudi

Parts a estudi	Blocs	Capítols per bloc	Núm. ocurrences	Núm. frases	Núm. ocurrences	Núm. frases
Ti_123	1a	1-6	4279	109	12449	334
	1b	87-97	3977	97		
	2a	98-99	4193	129		
Ti_4567	2b	111-114	4613	151	17504	549
	3a	116-119	4668	155		
	3b	292-295	4007	120		
	4a	296-300	4217	124		
	4b	388-395, 397, 399, 400	4167	112		
Ti_890	5a	408-411	4613	109	13418	356
	5b	481-487	4638	135		
Ti_fron	F1	148, 149, 151	3874	160	12829	455
	F2	154	4297	130		
	F3	155, 156, 157	4658	166		

En total es van introduir diferents trossos de text que representen un 15% del llibre. L'aparell del que es disposava no era massa modern: l'escàner feia la lectura de la grafia com un dibuix i aquesta era transformada en text per un OCR ("Optical Character Recognition"). El problema és que aquest programa de conversió no reconeix segons quines grafies de la llengua catalana i per tant va ser necessària una correcció manual de tot el text introduït, feina a la que es va dedicar moltes hores.

Elecció de les unitats analítiques

De les possibilitats comentades com a unitats per quantificar l'estil literari es van triar el nombre de lletres per paraula, nombre de paraules per frase, freqüència d'aparició de certs signes de puntuació i freqüència d'aparició de cadascuna de les paraules eina escollides. La raó més important per escollir aquestes unitats i no d'altres, fou el fet que són variables fàcils de comptar.

A l'hora de dissenyar el programa informàtic que realitzés el recompte automàtic es van prendre moltes decisions de caràcter operatiu. Es van analitzar formes en lloc de paraules, és a dir, no es va diferenciar entre majúscules i minúscules, entre paraules amb accent o sense accent o inclús amb dièresi o sense, sinó que dues paraules com "què" i "que" eren estudiades com una sola forma: "que".

Abans de fer el recompte del nombre de lletres per paraula va ser necessari definir clarament el terme *paraula*. Evidentment, aquesta definició afecta també al recompte de la segona variable: nombre de paraules per frase. Així doncs es va definir "paraula" com una seqüència de caràcters que finalitza en espai en blanc, apòstrof, guió o qualsevol dels signes de puntuació.

Mesura de les unitats utilitzades. Programa informàtic

Una vegada totalment depurat el text, es va elaborar un programa en Pascal que feia tot el recompte necessari per fer l'estudi amb els criteris definits. El programa creat era prou flexible com per que es pogués adaptar a altres variables semblants de forma senzilla i no tenia límits de llargada màxima ni mínima de text.

Comparació d'estils literaris

Les dades obtingudes per cada aspecte quantificat es poden presentar com a la Taula 2, que mostra el nombre de paraules segons el seu nombre de lletres en cadascun dels 4 trossos estudiats de *Tirant lo blanc* i de *Història de Josef*.

Taula 2: Nombre de paraules segons el seu nombre de lletres en quatre trossos estudiats de 'Tirant lo Blanc' i de 'Història de Josef'

Lletres per paraula	Tirant_1	Tirant_2	Tirant_3	Tirant_4	Hist.Josef	Total
1 lletra	1374	1820	1688	1347	1003	7232
2 lletres	2761	3928	2757	2917	2588	14951
3 lletres	2432	3588	2628	2683	2036	13367
4 lletres	1326	1811	1358	1342	1286	7123
5 lletres	1271	1873	1372	1228	1458	7202
6 lletres	1264	1824	1344	1443	1451	7326
7 lletres	714	988	671	702	997	4072
8 lletres	590	768	650	525	830	3363
9 lletres	366	498	502	429	533	2328
10 lletres	203	221	292	117	262	1095
11 lletres	102	86	84	60	116	448
Més de 11	46	99	72	36	83	336
Total	12449	17504	13418	12829	12643	68843

A partir de les dades d'aquesta taula es pot determinar si la distribució de les paraules segons el seu nombre de lletres a la *Història de Josef* és "significativament" diferent de la distribució de paraules en els quatre trossos del *Tirant lo Blanc*. En primer lloc cal adonar-se que el nombre total de paraules en cada una de les 5 parts estudiades és diferent, per tant no es poden comparar directament aquests valors. Per exemple, a la part Tirant_1 apareixen 1.374 paraules d'una sola lletra i a Tirant_2 n'apareixen més, 1.820. D'altra banda, s'observa que a Tirant_1 el nombre total de paraules és de 12.449 i, per tant, la proporció de paraules d'una sola lletra és 0,110 (=1.374/12.449). En canvi, a Tirant_2 la proporció de paraules d'una sola lletra és de 0,104 (=1.820/17.504).

Es útil presentar aquestes proporcions gràficament, com a la Figura 2, en la qual s'observa com els valors de la columna corresponent al text de Corella (*Història de Josep*) tendeix a desmarcar-se dels perfils dels altres quatre textos.

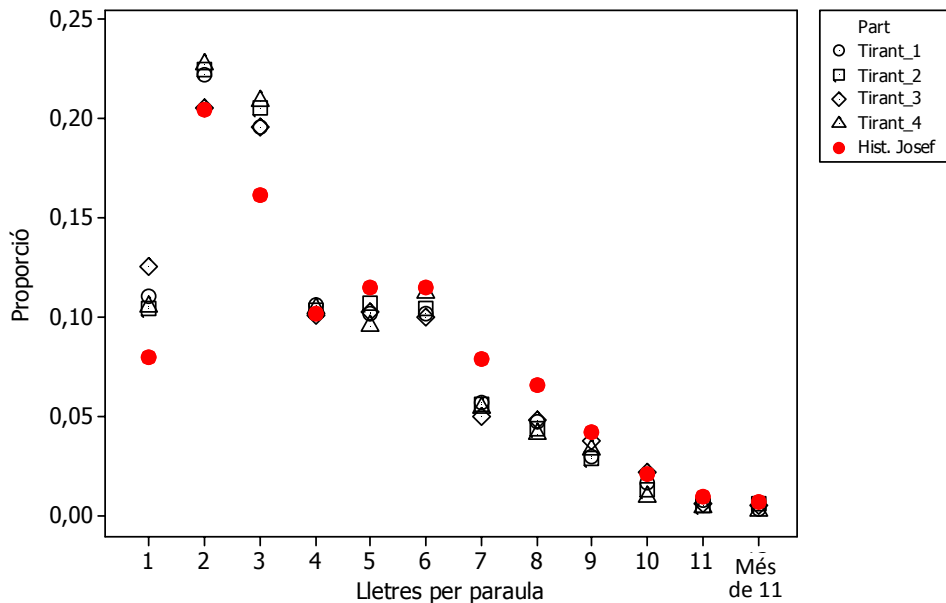


Figura 2: Proporció de lletres per paraula en els quatre trossos estudiats de 'Tirant lo Blanc' i de 'Història de Josep'

A la pràctica, dos perfils columna mai no seran idèntics, i el què es vol esbrinar és si el perfil columna de *Història de Josep* es podria correspondre al perfil d'alguna de les parts de *Tirant lo Blanc*, o bé si les diferències entre ambdós són massa grans. L'estadística formalitza aquesta pregunta al voltant del que s'anomena contrast d'hipòtesis, en el qual hi ha una hipòtesi nul·la i una d'alternativa. En aquest cas concret, la hipòtesi nul·la H_0 afirma que els valors esperats pels cinc perfils columna són iguals, i l'alternativa postula que són diferents.

La freqüència esperada en cada cel·la, si les proporcions de paraules segons el seu nombre de lletres són les mateixes en tots els trossos estudiats, es pot calcular dividint el total de la seva fila per la proporció que representa la suma de la seva columna respecte al total d'ocurrències. Per exemple, el total de la primera fila és 7.232 i el total de la primera columna és 12.449, que representa una proporció de 0,181 respecte el total de paraules (68.843). Per tant, si la proporció en les cel·les es reparteix de la mateixa manera que en els totals, esperarem trobar-nos en la primera cel·la una freqüència de: $7.232 \times 0,181 = 1.307,78$.

Lletres per paraula	Tirant_1	Tirant_2	Tirant_3	Tirant_4	Hist. Josef	Total
1 lletra	1374	1820	1688	1347	1003	7232
	1307,78	1838,81	1409,57	1347,69	1328,16	
:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:
Total	12449	17504	13418	12829	12643	68843
Proporcions	0,181	0,254	0,195	0,186	0,184	1

$7232 \times 0,181$
 $68843 / 12449$

Figura 3: Càlcul de les freqüències esperades per construir una taula de contingència

La discrepància entre les freqüències observades i les esperades es mesura a través de l'anomenada distància xi quadrat (χ^2). L'aportació de cada cel·la a aquesta distància es calcula a través de la fórmula:

$$\text{Aportació de la cel·la a la distància } \chi^2 = \frac{(\text{Valor observat} - \text{Valor esperat})^2}{\text{Valor esperat}}$$

A la Taula 3 el primer valor de cada cel·la és el valor observat, el segon és el valor esperat suposant que no hi ha diferències en les proporcions d'aparició en els diferents trossos que es comparen. Per últim, el tercer valor és la mesura de la discrepància entre el valor observat i el valor esperat; és a dir, la contribució d'aquesta cel·la a la distància χ^2 .

Taula 3: Taula de contingència de la freqüència d'aparició de paraules segons el seu nombre de lletres en quatre trossos de 'Tirant lo Blanc' i en 'Història de Josef'

Lletres per paraula	Tirant_1	Tirant_2	Tirant_3	Tirant_4	Hist. Josef	Total
1 lletra	1374	1820	1688	1347	1003	7232
	1307,78	1838,81	1409,57	1347,69	1328,16	
	3,354	0,192	54,998	0	79,603	
2 lletres	2761	3928	2757	2917	2588	14951
	2703,62	3801,44	2914,06	2786,14	2745,75	
	1,218	4,214	8,465	6,146	9,063	
...		
Més de 11	46	99	72	36	83	336
	60,76	85,43	65,49	62,61	61,71	
	3,585	2,155	0,647	11,312	7,348	
Total	12449	17504	13418	12829	12643	68843

La distància χ^2 és igual a la suma de les aportacions de cada cel·la, és a dir:

$$\begin{aligned} \text{Distància } \chi^2 &= \frac{(1374 - 1307,78)^2}{1307,78} + \frac{(1820 - 1838,81)^2}{1838,81} + \dots + \frac{(83 - 61,71)^2}{61,71} = \\ &= 3,354 + 0,192 + \dots + 7,348 = 729,867 \end{aligned}$$

Com més gran sigui aquesta distància, més discrepància hi haurà entre els valors observats i els esperats. Per tant, també estaran més lluny els perfils columna observats del perfil columna mitjana i més evidència hi haurà de que la hipòtesi nul·la és incorrecta. La contribució relativa de cada cel·la a la distància χ^2 indica les principals cel·les responsables d'aquesta discrepància. És fàcil observar que les contribucions de les cel·les de *Història de Josef* a la distància χ^2 són més grans que les de *Tirant lo Blanc* i, per tant, hi ha evidència en contra la hipòtesi nul·la. Així doncs, la distribució de paraules segons la seva llargada en els quatre trossos del *Tirant* no és la mateixa que en la *Història de Josef*.

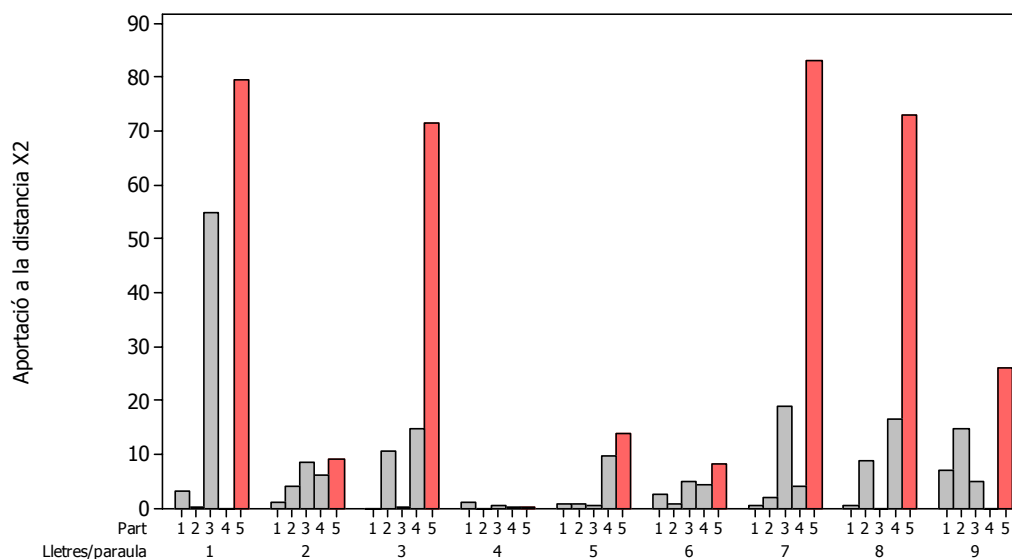


Figura 4: Aportació del trossos estudiats a la distància χ^2 , considerant les distàncies de les paraules fins a 9 lletres. La part 5 indica l'aportació de la 'Història de Josef'

Problema de l'autoria de *Tirant lo Blanc*

De les moltes hipòtesis que han circulat sobre l'autoria de *Tirant lo Blanc*, la que s'havia decantat com més versemblant és la que afirma que el gruix de l'obra fou escrit per Joanot Martorell (1414-1468), entre el 1460 i la seva mort, mentre que Martí Joan

de Galba (?—1490) s'encarrega de l'edició de l'obra el 1490, després de reelaborar alguns passatges i potser acabar l'obra.

Per altra banda, des de molt antic s'han detectat a *Tirant lo Blanc* plagis de trossos d'obres de Joan Roís de Corella. Basant-se en les obres de Corella, i en tot un seguit de detalls biogràfics de Martorell, Galba i Corella, el professor Josep Guia avança la hipòtesi que l'autor de *Tirant lo Blanc* (i de gran part de la prosa catalana de la segona meitat del segle XV) és Corella. Segons aquesta teoria, Corella s'hauria amagat darrere de dos amics morts, dels quals no es coneix cap altra obra literària, com a mesura de prudència davant de la Inquisició. Filant més prim, Guia (1996) defensa que un Martorell a les acaballes podria haver proporcionat al jove Corella el manuscrit *Guillem de Varoic*, lletres de batalla i altres materials sobre el món de cavalleries del qual havia format part tota la vida, i que Corella els aprofità per escriure fins al capítol 154 del *Tirant lo Blanc*. Segons Guia, fins aquí arribaria el *Tirant lo Blanc* de 1468, quan mor Martorell i Corella en continua tot sol la redacció.

De Martorell només ens han arribat lletres de batalla que no són comparables amb tot un llibre de cavalleries. Per tant, ens trobem que en la qüestió de l'autoria de *Tirant lo Blanc* s'hi conjuminen ingredients que fan que el problema estigui a cavall de la segona i la tercera família de problemes descrits anteriorment. Primer, se'ns planteja el problema de comparar l'estil de *Tirant lo Blanc* amb l'estil d'obres "comparables" de Corella. En segon lloc, seria molt útil documentar l'existència d'alguna frontera estilística en *Tirant lo Blanc* tot i que hem de tenir en compte que degut a la llargada de l'obra una frontera interior podria indicar tant l'existència de dos autors com de dues etapes d'escriptura diferenciades.

Joan Roís de Corella i *Tirant lo Blanc*

Com que no es disposa de textos de Corella més "comparables" a un llibre de cavalleries, ni edicions de *Història de Josef* més modernes ni fetes per Martí de Riquer, caldrà ser molt prudents en interpretar les diferències d'estil que es puguin trobar, ja que podrien ser degudes a la intervenció dels editors o a que pertanyen a gèneres literaris molt diferents. En estudiar l'homogeneïtat d'estil de *Tirant lo Blanc* aquests perills de confondre l'efecte autor amb els efectes gènere i/o editor desapareixeran.

De tots els aspectes quantificables comentats, s'ha escollit la distribució de paraules segons el seu nombre de lletres, la freqüència d'ús de 44 paraules eina i la distribució de les frases segons el seu nombre de paraules com a variables explicatives.

Distribució de les paraules segons les seves llargades

Ja hem vist a la Taula 3 com les cel·les que corresponen a la *Història de Josep* tenen una aportació més gran a la distància χ^2 . També la Figura 2 indica que la proporció de paraules llargues és més gran a la *Història de Josep* que a les parts de *Tirant lo Blanc*.

Freqüència d'ús de paraules eina

S'ha analitzat la freqüència d'ús de les 44 paraules eina seleccionades per als trossos de *Tirant lo Blanc* i per al text de Corella. Entre la llista de paraules hi ha conjuncions, preposicions, articles i alguns elements de locucions prepositives o conjuntives. Les cel·les que tenen una contribució més alta a la distància χ^2 tornen a ser les de *Història de Josep* i alguna cel·la de la columna Ti_890. El que sembla distingir *Història de Josep* de la resta és que hi apareixen menys “e”, “com” i “molt” i més “qual” i “als” que a *Tirant lo Blanc*. A l'últim tros del Tirant, Ti_1890, hi apareixen més “e” i “molt” que en els altres trossos del mateix llibre.

Distribució de les frases segons el seu nombre de paraules

A la Taula 4, hi ha la distribució de les frases segons el seu nombre de paraules, categoritzades en vuit grups. Observem com les contribucions de les cel·les de la columna de la *Història de Josep* a la distància χ^2 també tornen a ser les més grans. Aquesta coincidència dels resultats obtinguts a partir de les tres variables és força simptomàtica.

Taula 4: *Distribució de les frases segons el seu nombre de paraules. El primer valor de cada cel·la és el nombre de frases i el segon és la contribució d'aquella cel·la a la distància χ^2 .*

Paraules per frase	Ti_123	Ti_4567	Ti_890	Ti_front	Hist. Josep	TOTAL
de 1 a 12	46 (0,451)	74 (0,444)	28 (6,063)	86 (15,064)	11 (15,274)	245
de 13 a 20	58 (1,524)	125 (1,486)	77 (0,256)	115 (5,258)	26 (15,39)	401
de 21 a 25	41 (0,012)	71 (0,341)	41 (0,089)	57 (0,08)	27 (0,956)	237
de 26 a 30	30 (0,006)	49 (0,008)	28 (0,36)	42 (0,092)	25 (0,062)	174
de 31 a 40	47 (0,316)	93 (0,996)	62 (1,068)	54 (3,457)	44 (0,184)	300
de 41 a 50	36 (0,214)	47 (1,107)	39 (0,339)	38 (1,208)	36 (3,043)	196
de 51 a 70	43 (0,032)	58 (1,685)	43 (0,057)	44 (2,961)	58 (17,29)	246
més de 70	34 (1,179)	32 (4,47)	38 (2,08)	19 (9,844)	43 (17,843)	166
TOTAL	335	549	356	455	270	1965

Homogeneïtat d'estil al *Tirant lo Blanc*

Alguns estudiosos plantegen l'existència de diferències d'estil al *Tirant lo Blanc*. Aquestes diferències podrien ser degudes a l'evolució en l'estil de l'autor o a que el van escriure autors diferents.

Per explorar l'existència de fronteres estilístiques, s'ha analitzat com s'agrupen les distribucions de paraules segons el seu nombre de lletres i la freqüència d'ús de les 44 paraules eina en els 10 blocs (1a, 1b, 2a, 2b, 3a, 3b, 4a, 4b, 5a i 5b) descrits a la Taula 1. Calculant les distàncies χ^2 que resulten de comparar el perfil de la suma de les m primeres columnes i el perfil de la suma de les (10 - m) últimes, tant per lletres per paraula com per la freqüència d'ús de paraules eina, les distàncies més grans apareixen quan comparem els 7 primers blocs amb els 3 últims. Per tant, si hi ha una frontera d'estil, aquesta podria estar entre els blocs 4a i 4b, que correspon a una frontera entre els capítols 325 i 350, tal com també plantegen alguns experts.

Per confirmar l'evidència a favor d'aquesta frontera s'han agrupat els 10 blocs del *Tirant* en dos grups de 7 i de 3 blocs de totes les 120 maneres possibles, i s'ha calculat la distància χ^2 entre cada una de les 120 parelles de perfils columna, obtingudes sumant les columnes dels grups de 7 i les dels grups de 3. L'objectiu és fer el que s'anomena un test de permutacions, tot comptant quantes combinacions en grups de 7 i de 3 columnes tenen perfils més diferents que entre els 7 primers blocs i els 3 últims blocs del llibre. La Figura 5 mostra la distribució d'aquestes 120 distàncies χ^2 .

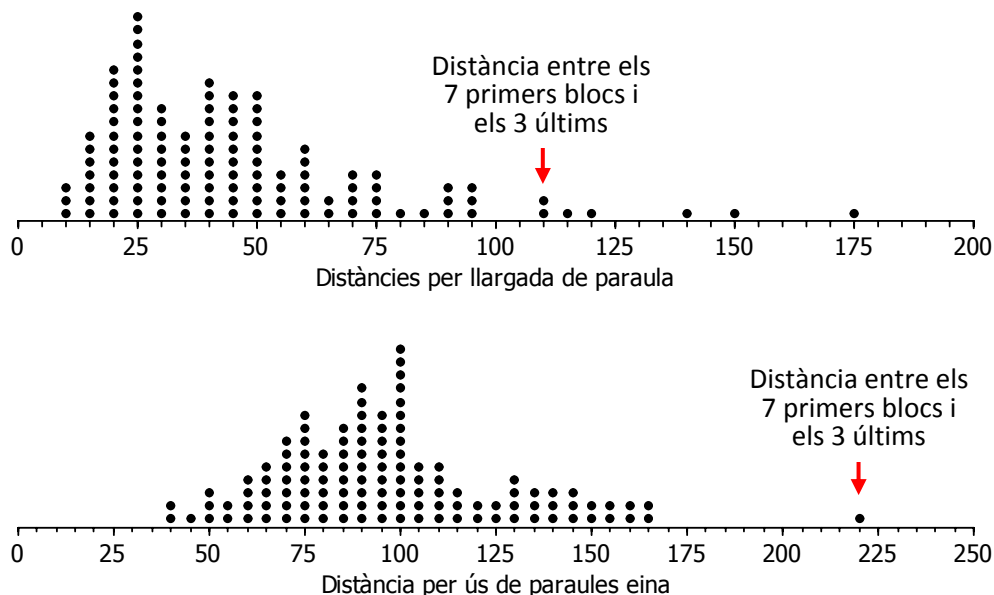


Figura 5: Tests de permutacions. Diagrama de punts de les distàncies χ^2 entre parelles de perfils columna obtingudes agrupant els 10 blocs del 'Tirant lo Blanc' en grups de 7 blocs i de 3 blocs de totes les 120 maneres possibles, per llargada de paraula i per ús de paraules eina.

Per a la freqüència d'ús de paraules eina, la combinació que agafa els 7 primers blocs, per un costat, i els tres últims, per l'altre, dona la distància χ^2 més gran de totes les combinacions possibles. Per a la distribució de llargades de paraula, hi ha cinc combinacions de les 120 possibles amb distància χ^2 més gran que quan es comparen els set primers blocs amb els tres últims, però totes aquestes cinc combinacions contenen els blocs 4b i 5b en el grup de tres columnes. Tot això indica que l'evidència a favor d'una frontera d'estil en algun lloc entre els capítols 325 i 350 és molt gran.

Conclusions

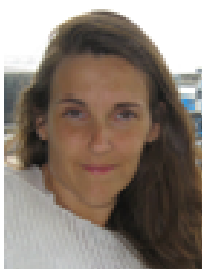
Les anàlisis realitzades no avalen l'autoria de Joan Roís de Corella, ja que les diferències d'estil entre el *Tirant* i l'obra disponible de Corella són clares, però aquestes diferències podrien ser degudes a que els textos comparats corresponen a diferents gèneres, o també a diferències lligades a l'edició.

Sí que s'ha trobat una clara frontera en l'estil al voltant dels capítols 325-350. A l'estadística se li pot demanar més precisió a l'hora de definir en quin punt pot haver aquesta frontera, i també en la quantificació de la magnitud del canvi però són els experts del ram els que hauran de dir les raons més versemblants sobre les causes d'aquest canvi d'estil.

(Projecte de la Diplomatura d'Estadística, presentat el febrer de 1997 amb el títol "Anàlisi estadística de l'estil literari: aproximació a l'autoria del 'Tirant lo Blanc'").

Hem escollit aquest projecte perquè va ser el primer d'una línia de recerca que ha donat excel·lents resultats, i també perquè mostra un camp on, segurament per sorpresa d'alguns, l'estadística és molt útil. Un resum complet, incloent-hi altres tècniques que es van fer servir, es troba a: Ginebra, J. i Cabos S.: "Anàlisi Estadística de l'estil literari: Aproximació a l'autoria del Tirant lo Blanc". Afers, Nº. 29, 1998.

Des de llavors s'ha treballat molt sobre aquest tema. Alexandre Riba va realitzar la seva tesi doctoral "Homogeneïtat d'estil al Tirant Lo Blanc", dirigida per Josep Ginebra, que pot ser consultada a: <http://www.tesisenxarxa.net/TDX-0411105-115931/index.html>. També s'han publicat articles sobre aquest tema en revistes estadístiques de primera línia.



Susanna Cabos va cursar la Diplomatura d'Estadística (tercer premi nacional final de carrera) i va orientar l'activitat professional en el camp de la qualitat, dins del sector industrial. Va aprofundir en aquests temes cursant el Màster en Gestió de la Qualitat (Fundació UPC), i també l'European Master's Program in Total Quality Management, organitzat per la European Foundation for Quality Management (EFQM). La seva activitat professional ha transcorregut sempre en el sector de l'automoció. Actualment és Responsable de Qualitat i Medi Ambient per Espanya i França d'una important empresa del sector elèctric.

2

Anàlisi estadística de dades musicals: Estudi interpretatiu de l'obra "TRÄUMEREI" (R. Schumann)

Projecte realitzat per: **Josué Almansa Ortiz**
Dirigit per: **Pedro Delicado Useros**

Com ocorre amb altres disciplines artístiques, a primera vista es diria que la percepció d'una obra musical (tant en la seva composició com en la seva interpretació) és principalment subjectiva, depenent de l'espectador, i difícilment quantificable. Tot i així, hi ha maneres de realitzar anàlisis objectives de diferents aspectes d'una obra musical que es basen fonamentalment en mètodes de les matemàtiques, l'estadística i la física.

Aquest estudi objectiu de la música pot desenvolupar-se sobre tres grans línies d'investigació: la composició, la interpretació i el so. En aquest treball ens centrem en l'anàlisi de la interpretació musical des del punt de vista estadístic.

Concretament es consideren dades del "tempo" (velocitat d'interpretació) en 28 interpretacions de l'obra "Träumerei" de Robert Schumann i s'analitzen mitjançant una tècnica denominada Anàlisi de Components Principals Funcionals. Aquest estudi, com tot estudi interpretatiu d'una partitura, té per objectiu fonamental descriure de quina manera diferents músics interpreten una mateixa peça musical, trobar els seus trets comuns (el què en musicologia es coneix com "comunalitats") i les seves peculiaritats ("diversitat").

L'autor: Robert Schumann (1810-1856)

Robert Schumann va començar amb vuit anys els seus estudis musicals, encara que no es va dedicar per complet a la música fins els 20 anys, quan va abandonar la carrera de Dret. Una lesió el portà a abandonar l'estudi de l'instrument (el piano) i a centrar-se en la composició musical. L'any 1840 es va casar amb Clara Wieck, filla del seu mestre, que s'oposava a l'enllaç per la inestable posició econòmica de R. Schumann. El 1843 fou professor del Conservatori de Leipzig, que va fundar Mendelssohn. El 1844 es va establir a Dresde i el 1850 va ser nomenat director de música a Dusseldorf. Una malaltia mental va anar afectant la seva salut fins la seva mort el 1856. La seva muller Clara Wieck va ser una de les millors pianistes del s. XIX, i fou gran difusora de l'obra de R. Schumann.

R. Schumann és un clar exponent del romanticisme, on no destaca tant pel seu virtuosisme, com per la seva expressivitat musical, la seva subjectivitat i els matisos psicològics d'un estat d'ànim. L'obra que s'analitza en aquest projecte, *Träumerei*, n'és un clar exemple.

L'obra: *Träumerei*

Träumerei, que traduït al català significa somni, és la setena de tretze peces curtes que constitueixen l'àlbum *Kinderszenen* (escenes de la infància). Va ser composta per R. Schumann el 1838, quan estava secretament promès amb Clara Wieck. Aquestes peces van ser seleccionades d'entre unes 30 composades per a Clara.

Träumerei està formada per tres frases de vuit compassos cada una, amb estructura

A B A'

La primera de les frases (A) segons indica la partitura s'ha de repetir i la tercera frase (A') no és més que la frase A del principi, però amb variacions al final que li donen el caràcter conclusiu de l'obra. Cada frase es subdivideix en dos períodes de quatre compassos cada un. Tots els períodes tenen una estructura rítmica quasi idèntica (només en l'últim compàs dels períodes és on es troben algunes diferències), i bàsicament només es diferencien en les notes i l'harmonia. Com es pot observar, és una obra de forma molt regular.

La música es crea mitjançant relacions de tensió i distensió. En aquesta obra el moment de màxima tensió es crea a la frase B (més concretament en la nota *si blanca* del compàs 14) i posteriorment es relaxa a A' para concloure l'obra.

La partitura de l'obra es mostra a la Figura 1 (s'ha marcat sobre ella la situació de les frases).

Träumerei

M. M. = 100

A

B

A'

ritardando

ritard.

ritard.

Figura 1: "Träumerei" de Schumann, op. 15/7. Reproduït amb permís de G. Henle Publishers, <http://www.henle.de>.

En referència a la interpretació rítmica de l'obra es pot destacar que:

1. No hi ha cap indicació que la repetició de la frase A s'hagi de tocar de manera diferent a la primera vegada, amb la qual cosa a nivell rítmic aquestes dues frases (l'A i la seva repetició) han d'interpretar-se de manera similar.
2. Al final de cada frase està indicat fer un *ritardando* (un alentiment en el tempo de les interpretacions), i es pot veure que el *ritardando* del final de l'obra és molt més llarg. També s'ha de tenir en compte el context de cada *ritardando*, ja que no és el mateix el del final de frase A (la primera vegada que apareix) que el del final de frase B (just després del moment de màxima tensió).
3. En el compàs 22 apareix un calderó sobre una blanca que indica que aquella nota s'ha d'allargar discrecionalment.
4. A part de les indicacions explícites sobre com s'ha d'interpretar una obra (aquelles que estan escrites a la partitura), sempre hi ha altres "indicacions implícites" que s'han d'entendre en funció de l'estil i l'època en què va ser composta. En aquesta obra romàntica, els pianistes acostumen a jugar bastant amb la interpretació rítmica de l'obra. S'acostumen a fer servir "eines interpretatives" com el *rubato*. Un *rubato* consisteix en una lleugera variació del ritme d'unes notes mitjançant breus acceleraments o endarreriments amb l'objectiu d'augmentar l'expressió. Un punt on està àmpliament acceptat que hi hagi un *rubato* és en les corxeres del primer compàs de cada període, fins arribar a la blanca del segon compàs:



Figura 2: Exemple de cas en què està acceptada la presència d'un "rubato"

A partir d'aquests principis generals cada intèrpret posarà característiques pròpies del seu estil.

L'estructura formal de l'obra en si és molt regular. En el romanticisme l'important no és la forma (l'estructura de la partitura), sinó que l'interès de l'obra radica més en l'expressió, en reflectir sentiments. Per això, és d'esperar que aquesta obra no sigui tocada pels músics com un simple exercici de tècnica instrumental, on totes les notes

són toades exactament tal com la partitura indica, sent totes les corxeres d'igual duració, i les negres de duració doble que les corxeres, etc. El caràcter interpretatiu tan expressiu d'aquesta obra s'aconseguirà, per una part, a través de constants matisos i canvis en la intensitat del so, així com en contínues variacions de la velocitat de les notes amb respecte al què està "literalment" escrit a la partitura, mitjançant lleugeres acceleracions i desacceleracions de les notes (però, òbviament, sense arribar a ser tan exagerades que sembli que el què s'està tocant no té res a veure amb la partitura).

Així doncs, el què *a priori* s'espera trobar en l'anàlisi com a més característic és això: els *ritardandos* i *rubatos*, i el caràcter de cada frase (la frase B molt diferent de A i A', i la frase A' diferent d'A en el seu final).

Les dades

Les dades amb les que ha estat realitzat aquest treball han estat facilitades per Bruno H. Repp (psicòleg de formació i investigador a Haskins Laboratories – EEUU – en termes de psicoacústica i psicologia musical). Aquestes dades consisteixen en 28 interpretacions diferents de l'obra *Träumerei*, toades per 24 destacats pianistes, i es van obtenir a partir de gravacions sobre diferents suports (cassetes, CD, etc.). Algunes són gravacions en directe i altres es van gravar en un estudi. Algunes d'elles es van executar aïlladament, i d'altres dins de la col·lecció "Kinderszenen" (Escenes de la infància).

D'entre els 24 pianistes destaca Fanny Davies (DAV) que va ser alumna de Clara Schumann (Clara Wieck); amb una gravació de l'any 1929 sobre un suport que en el moment de la recollida de dades es trobava bastant deteriorat (en paraules del propi Bruno H. Repp: "*from a very scratchy original*").

Dos d'aquests artistes (Cortot i Horowitz) estan representats per tres gravacions diferents de cada un d'ells. A la Taula 1 es mostra la relació de les 28 gravacions amb els noms dels pianistes i un codi de tres lletres que els identifica d'ara en endavant.

Taula 1: Relació d'interpretacions incloses en les dades a analitzar

Codi	Intèrpret	Any de gravació
ARG	Martha Argerich	< 1983
ARR	Claudio Arrau	1974
ASH	Vladimir Ashkenazy	1987
BRE	Alfred Brendel	< 1980
BUN	Stanislav Bunin	1988
CAP	Sylvia Capova	< 1987
CO1	Alfred Cortot	1935
CO2	Alfred Cortot	1947
CO3	Alfred Cortot	1953
CUR	Clifford Curzon	1955
DAV	Fanny Davies	1929
DEM	Jörg Demus	1960
ESC	Christoph Eschenbach	< 1966
GIA	Reine Gianoli	1974
HO1	Vladimir Horowitz	1947
HO2	Vladimir Horowitz	<1963
HO3	Vladimir Horowitz	1965
KAT	Cyprien Katsaris	1980
KLI	Walter Klien	?
KRU	André Krust	1960
KUB	Antonin Kubalek	1968
MOI	Benno Moiseiwitsch	1950
NEY	Elly Ney	1935
NOV	Guiomar Novaes	< 1954
ORT	Cristina Ortiz	< 1988
SCH	Artur Schnabel	1947
SHE	Howard Shelley	< 1990
ZAK	Yakov Zak	1960

Les dades recullen el temps, en mil·lsegons, que dura cada nota de la melodia. Les notes de duració major que la corxera es van dividir en corxeres d'igual duració cada una d'elles, d'aquesta manera tenim cada interpretació discretitzada uniformement a la corxera. L'última nota no està mesurada, ja que el procés de mesura es calculava mitjançant la diferència de temps d'inici de dues notes consecutives. Per aquesta raó,

només hi ha mesures fins la penúltima nota. Així doncs, per cada interpretació tindrem mesures de la duració de 253 corxeres. La Figura 3 mostra els valors d'aquestes duracions per cada una de les 28 interpretacions i a la Figura 4 tenim la duració acumulada per cadascuna de les 28 interpretacions.

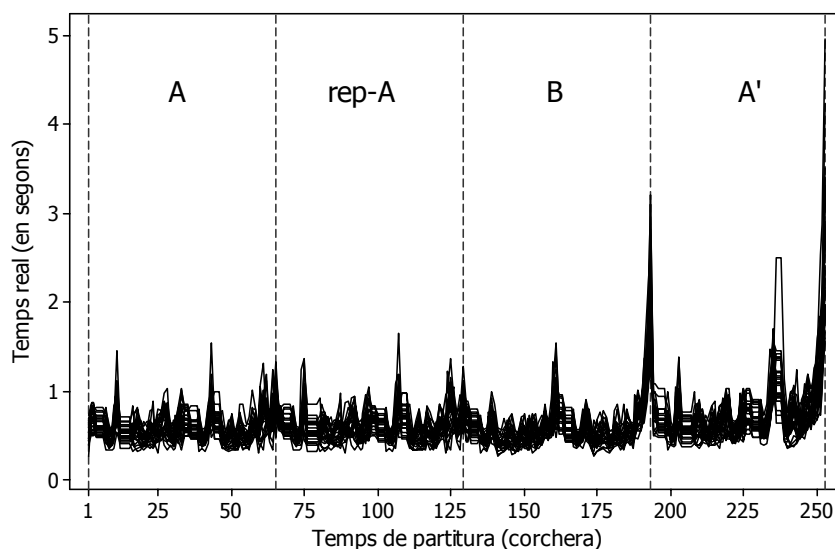


Figura 3: Duració de cada nota en les 28 interpretacions

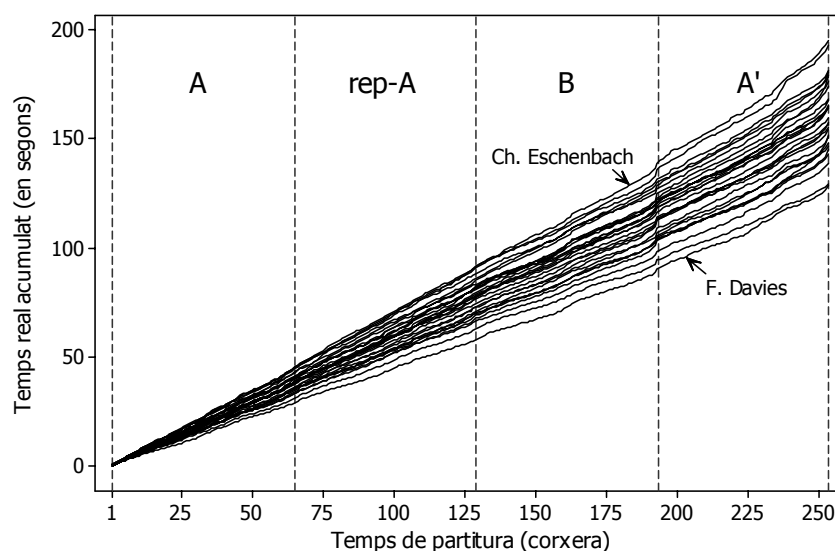


Figura 4: Duració acumulada per cada nota en cadascuna de les 28 interpretacions. S'indica també la línia corresponent al pianista més ràpid (F. Davies) i al més lent (Ch. Eschenbach)

El temps acumulat en la corxera 253 dóna el temps total de la interpretació. La Figura 5 mostra un diagrama de punts d'aquests temps totals amb la identificació dels pianistes que tenen els valors extrems, i també els valors centrals.

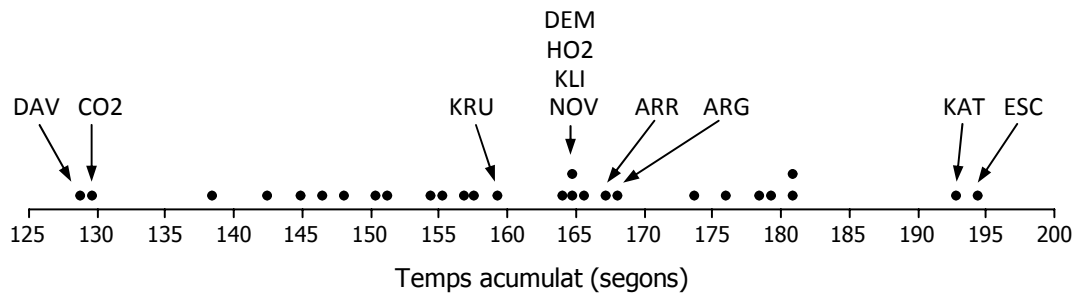


Figura 5: Temps total d'execució, amb indicació del pianistes que tenen els valors extrems i els centrals.

Cal dir que el procés d'obtenció d'aquestes dades per part de Bruno H. Repp va ser bastant artesanal i va requerir molt de treball manual per part seva, amb la qual cosa s'assumeix que les dades s'han mesurat amb cert error. Un programa de digitalització del so mostra les ones a la pantalla d'un ordinador amb una resolució de 2 mil·lisegons. Un cursor se situava al inici de cada nota, i s'etiquetaven aquests punts. La diferència entre temps de dues etiquetes successives formen les dades en les que es basa aquest projecte.

Expressió de les dades en forma de funcions

Les dades originals, que formen una matriu de dades de dimensions 253x28, no tenen forma funcional sinó que simplement indiquen la duració de cada nota en la interpretació de cada pianista. La manera en què aquestes dades es transformen en dades funcionals és la següent: per cada interpretació es calcula una funció que mesura el temps transcorregut t (mesurat en mil·lisegons) des del principi fins qualsevol posició donada s de la partitura (mesurada en notes, o en corxeres per ser més exactes). L'estimació d'aquesta funció es realitza acumulant les duracions de les notes precedents (les representades en la Figura 4).

Per qualsevol nombre real s en $[1, 253]$ és possible estimar (per interpolació lineal, per exemple) el temps acumulat t corresponent. Podem definir així, una funció $t(s)$ per

s en $[1, 253]$. Aquestes funcions són molt similars entre totes les interpretacions i difícilment trobarem en elles peculiaritats de cada pianista.

Les inverses de les funcions $t(s)$ són funcions de posició $s(t)$: donat un temps t , $s(t)$ calcula la posició en la partitura, s , de la nota que està interpretant el pianista a l'instant t . L'aplicació de les nocions bàsiques de la física permeten calcular la velocitat $v(t)$ i l'acceleració $a(t)$ com primera i segona derivades de la funció de posició: $v(t) = s'(t)$, $a(t) = v'(t) = s''(t)$. Aquestes noves funcions (velocitat i acceleració) són més informatives que la posició, i poden ajudar a diferenciar millor unes interpretacions d'altres.

L'opció que es va considerar la millor va ser la de treballar amb les funcions de temps acumulat $t(s)$ com dades funcionals de partida. El principal avantatge de treballar amb $t(s)$ és que d'aquesta manera totes les funcions observades $t_i(s)$ tenen un suport comú ($[1, 253]$). Aquest no és el cas quan s'utilitzen les funcions de posició $s(t)$ degut que diferents interpretacions tenen duracions diferents. Tenir un suport comú és molt convenient per comparar les diferents funcions i per relacionar els seus valors directament a posicions a la partitura.

Es denomina *temps-transcorregut* a la funció $t(s)$, *lentitud* a la seva primera derivada $w(s) = t'(s)$ i *desacceleració* a la seva segona derivada $d(s) = w'(s) = t''(s)$.

Aspectes comuns a totes les interpretacions

La Figura 6 mostra la funció promig de les 28 funcions de *lentitud* estimades. Aquesta funció resumeix les característiques comuns a les 28 interpretacions, el que en l'estudi de la interpretació musical es coneix com *comunalitats*. En aquest cas és possible observar que al final de cada frase hi ha un *ritardando*, un alentiment en el tempo de les interpretacions (màxims locals de la funció *lentitud*), sent això més evident al final de la frase B i al final de la peça.

A una distància de dues desviacions estàndard (calculades per cada posició de la partitura) s'han col·locat bandes que donen idea de la variabilitat de la funció *lentitud* al llarg de la partitura. El final de frase B, el *calderó* i el *ritardando* final són les fases de l'obra on la funció de *lentitud* té més variabilitat.

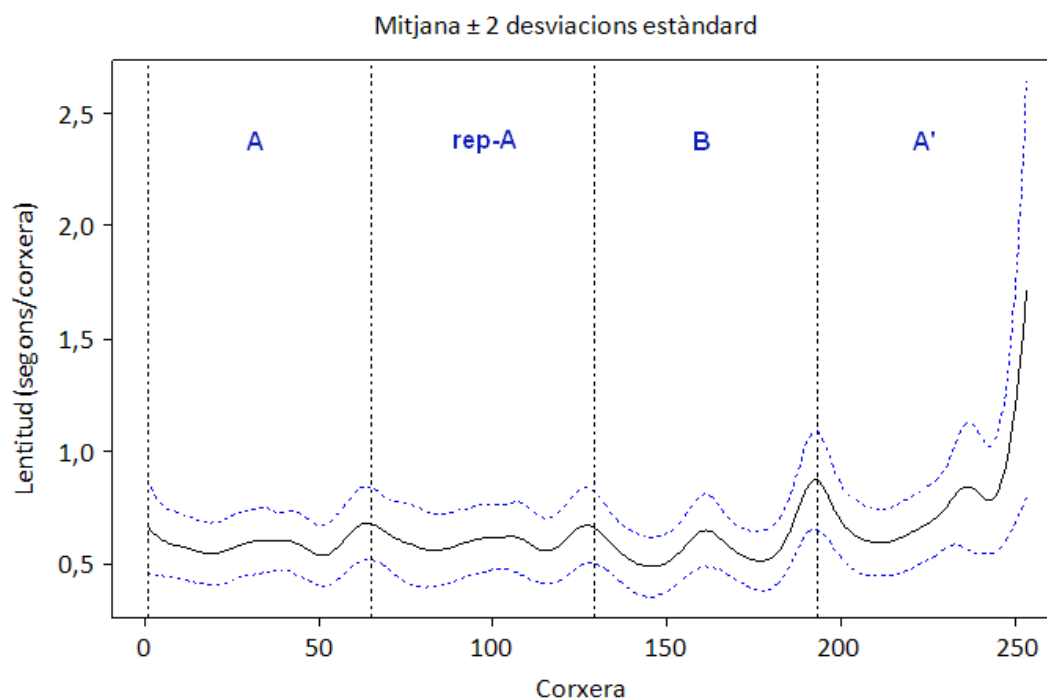


Figura 6: Mitjana de les 28 funcions lentitud, amb bandes a dues desviacions estàndard

Diversitat en les interpretacions

S'han representat cada una de les 28 interpretacions mitjançant una funció $t_i(s)$, amb $i = 1, 2, \dots, 28$. La funció promig, $\bar{t}(s) = \frac{1}{n}t_i(s)$, recull el què de comú hi ha en les interpretacions estudiades. Per tant, les funcions centrades en la mitjana, $t_i(s) - \bar{t}(s)$, representen les particularitats de cada interpretació: el què es coneix com *diversitat*.

L'Anàlisi de Components Principals Funcionals (ACPF) és una tècnica estadística que analitza aquestes diversitats, les funcions $t_i(s) - \bar{t}(s)$, i les resumeix mostrant el què de comú hi ha en la forma en la que els individus són diferents.

L'ACPF proporciona un conjunt de funcions (anomenades *funcions principals*) que expliquen la variabilitat de les dades. En el nostre cas, realitzada aquesta anàlisi a les funcions lentitud $t_i(s)$ s'observa que les dues primeres funcions principals destaquen sobre les altres i arriben a explicar el 80% de la variabilitat. Aquestes dues primeres funcions són la velocitat global en la interpretació i la rapidesa de la interpretació (*ritardando*). La primera explica el 60% de la variabilitat de les interpretacions al

voltant de la interpretació mitjana i la segona explica el 20%. Les 5 primeres arriben a explicar el 92% del total de la variabilitat.

La representació gràfica dels coeficients permet ordenar als individus analitzats segons els valors que en ells prenen les diferents funcions principals. La Figura 7 mostra el núvol de punts format pels coeficients corresponents a les dues primeres funcions principals. Les interpretacions amb valors en la primera funció principal més negatius (més lentes) són ESC, KAT i BUN. Les interpretacions amb primera component principal més positiva (les més ràpides) són CO2 i DAV. Evidentment, aquest resultat coincideix amb que ja havíem vist a la Figura 5.

Fixant-nos també en la segona component (eix vertical) s'observa que BUN, a més de ser lent, emfatitza el *ritardando* final (més lent) amb respecte a la resta de l'obra. Per la seva part, ORT té una velocitat global propera a la mitjana i emfatitza el *ritardando* final amb respecte a la resta de l'obra. ARG té una velocitat global propera a la mitjana i no posa un èmfasi especial en el *ritardando* final (és una interpretació amb velocitat homogènia).

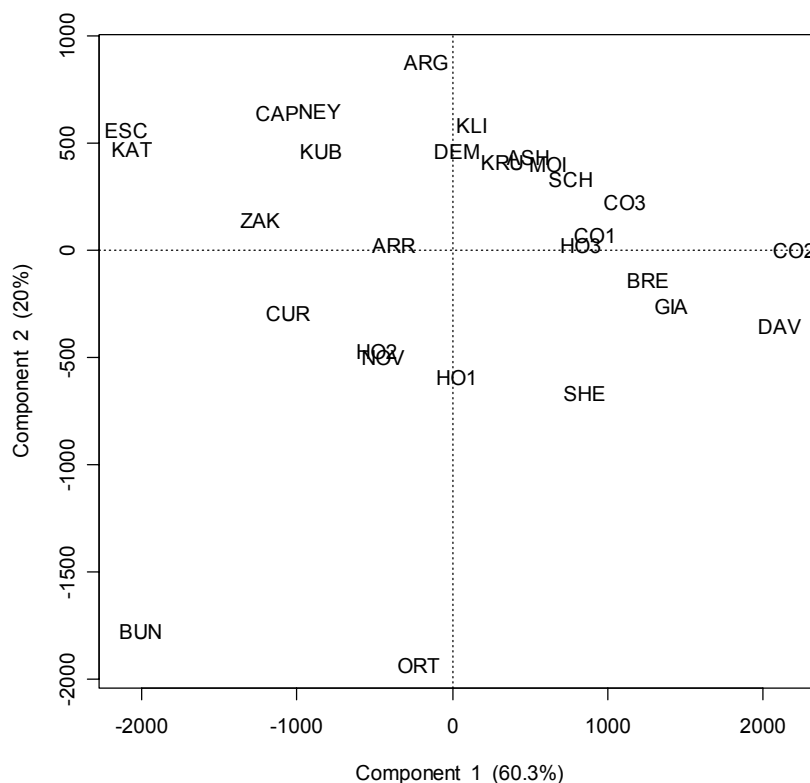


Figura 7: Coeficients de les funcions lentitud en les 2 primers funcions principals

Conclusions

Aquest projecte es basa en unes dades recollides laboriosament per Bruno H. Repp i mostra que aquestes dades, tractades com a dades funcionals, ajuden a revelar unes estructures que d'altra manera passarien desapercibudes.

En aquest treball es mostra com l'Anàlisi de Components Principals Funcionals (ACPF) permet classificar els intèrprets en funció de dos factors que expliquen el 80% de la variabilitat de les dades. Aquests factors són la velocitat global en la interpretació – explica el 60% de la variabilitat total– i la rapidesa de la interpretació al final de l'obra (*ritardando*), que explica el 20%. Aquestes anàlisis també han permès descriure diferents patrons d'interpretació en l'estructura rítmica de cada frase de la peça musical, i diverses maneres d'interpretar el *rubato* (fig.2), que són molt difícils de detectar simplement amb l'oïda.

(Projecte de la Llicenciatura de Ciències i Tècniques Estadístiques el Juny de 2005 amb el títol "Análisis de datos musicales mediante componentes principales funcionales: Estudio interpretativo de la obra Träumerei")

L'objectiu fonamental d'aquest projecte és mostrar les possibilitats d'una nova forma d'analitzar les dades, posant de manifest els seus avantatges en front d'altres tècniques més habituals. No és un tema fàcil d'explicar però l'hem escollit perquè mostra l'aplicació de l'estadística en un entorn que, a l'igual que la literatura, pot semblar molt llunyà.



Josué Almansa va fer la Diplomatura d'Estadística i també la Llicenciatura a la UPC. Mentre estava acabant la llicenciatura va entrar com a becari a l'Institut Municipal d'Investigació Mèdica (IMIM-Hospital del Mar) on va participar en diferents projectes de recerca. Posteriorment, va obtenir una beca de formació d'investigadors i va iniciar els estudis de doctorat a la UB. Actualment està fent una estada a la Universitat de Tilburg amb el seu codirector de

tesi, realitzant un estudi que es titula "Anàlisi dels trastorns mentals a Europa mitjançant variables latents". També va obtenir el títol de professor de flauta travessera al Conservatori del Liceu i ha participat en el conjunt instrumental de la Universitat Pompeu Fabra. Però diu que ha anat deixant de banda la música, i que pensa guanyar-se la vida amb l'estadística.

3

Aplicació de tècniques estadístiques a l'estudi de l'art pictòric dels segles XV al XIX

Projecte realitzat per: **Miquel Romero Obón**
Dirigit per: **Lídia Montero Mercadé**

Qualsevol forma artística presenta clarament un vincle amb la part emocional humana i no és d'estranyar que les valoracions que puguin fer-se sobre una obra es basin en factors subjectius. Però, què hi ha en una pintura que ens faci pensar en un autor o un moviment artístic concret? Hi ha mecanismes de classificació basats en l'entrenament visual en els quals se cerca, conscientment o no, certs patrons propis de l'època o del pintor.

D'altra banda, les tècniques actuals de caire científic que donen suport a les assercions dels estudiosos de l'art resulten cares i agressives pel que fa al caràcter destructiu de la presa de mostres i la seva posterior anàlisi química. Per tant, la cerca de mecanismes d'identificació i classificació aplicant tècniques estadístiques resulta força interessant, ja que en aquest cas les tècniques destructives podrien aplicar-se amb caràcter principalment confirmatiu.

L'abast d'aquest estudi es centra en les pintures a l'oli d'entre els segles XV i XIX, que compren les èpoques des del renaixement fins el fauisme.

Evolució de la tècnica i dels materials usats per pintar

La primera part d'aquest projecte ha estat l'estudi dels materials i de les tècniques emprades pels pintors al llarg del període estudiat, que va des del segle XV fins als inicis del segle XX al territori europeu.

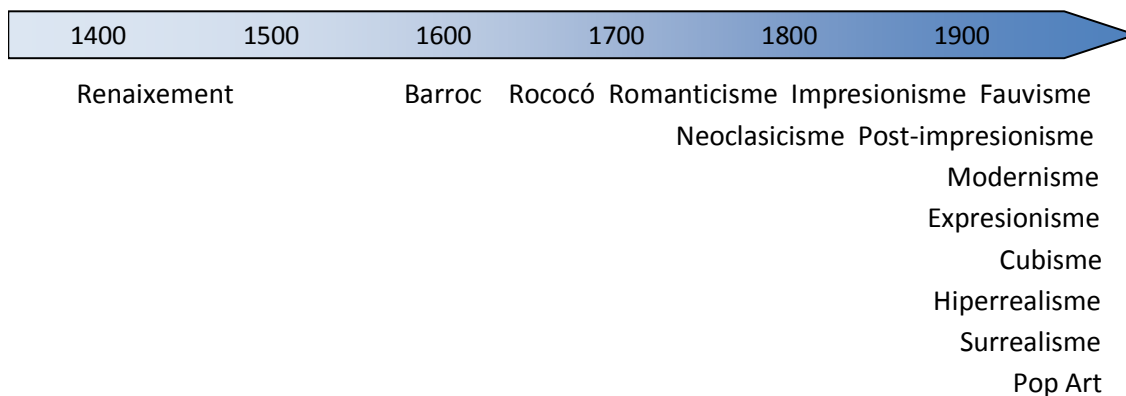


Figura 1: *Moviments artístics al llarg del temps*

D'aquest estudi se'n desprèn que els fets diferencials més importants durant el període estudiat, i que es poden fer servir per identificar l'estil i l'època en què ha estat creada una obra són els següents:

- *Ús de pigments*

Al llarg del temps s'han utilitzat diferents pigments per salvar les incompatibilitats químiques. Per exemple, la incompatibilitat entre el blanc de Plom i el vermell com a Sulfur de Mercuri va impedir l'existència de certa gama de roses fins que no es va descobrir el blanc de Zenc.

- *Forma d'interpretar la llum*

Mentre que els moviments més antics representen la llum sobre un cos afegint blanc al pigment local i la foscó afegint negre, els moviments més moderns juguen amb el color complementari del local arribant a eliminar el color negre de la paleta dels pintors impressionistes.

- *Gamma cromàtica*

Els mateixos colors i les combinacions són pròpies del moment i de l'autor, de manera que es troben preferències per l'ús monocrom, les triades de colors bàsics, les triades de colors secundaris, etc.

- *Perspectiva*

Partint de la pràctica inexistència de la perspectiva, hi ha una evolució cap a l'ús lineal i més endavant cap a les perspectives atmosfèrica i cromàtica.

- *Temes representats*

Respecte a la tipologia de temes representats, mentre la pintura és considerada ofici i no art i els pigments no estan a l'abast de l'economia dels pintors, la representació habitual és la determinada pel client principal, l'església. Més endavant, el pintor es deslliura del tema imposat i el tema representat es basa principalment en la influència del pensament del moment. Posteriorment, la invenció del tub d'estany fa "portàtil" la pintura a l'oli i es produeix un increment de les representacions a l'aire lliure.

- *Recursos compositius*

El recurs compositiu aplicat pel pintor per dur la mirada de l'observador cap a un centre d'interès no és sempre el mateix. La influència dels mestres i les escoles artístiques marquen una evolució en el temps i, per tant, la composició és un dels elements útils en la identificació i classificació de les obres

Obtenció de variables i comprovació de la seva validesa

Una vegada identificats els fets diferencials calia trobar la manera de mesurar-los a partir de còpies de les imatges. Aquestes còpies es van obtenir de dues fonts:

- Bibliografia d'editorials especialitzades en gran format, de les quals es van escanejar les obres seleccionades.
- Pàgines web dels museus de major prestigi del món i d'enciclopèdies electròniques especialitzades en art.

Per cada fet diferencial van estudiar-se una o més variables i es van sotmetre a prova tot modificant factors com l'origen de la imatge, la seva mida, la proporció entre la imatge real i la tractada, la resolució i el temps de captura quan s'utilitzava escàner.

Finalment, les variables que van superar aquesta prova, demostrant ser poc sensibles a l'origen i el format de la imatge, van ser les que es van utilitzar pels estudis posteriors. Les variables són les següents:

Grau de mescla: Variable contínua que expressa la relació percentual del número de colors diferents que conté la imatge després de saturar-la al 100%, respecte el número

de colors de la imatge original. Dóna idea del nivell de mescla dels pigments o de l'aplicació directa dels colors sense mescla prèvia. Aquesta variable és mesurable amb el software comercial *Image Analyzer*.

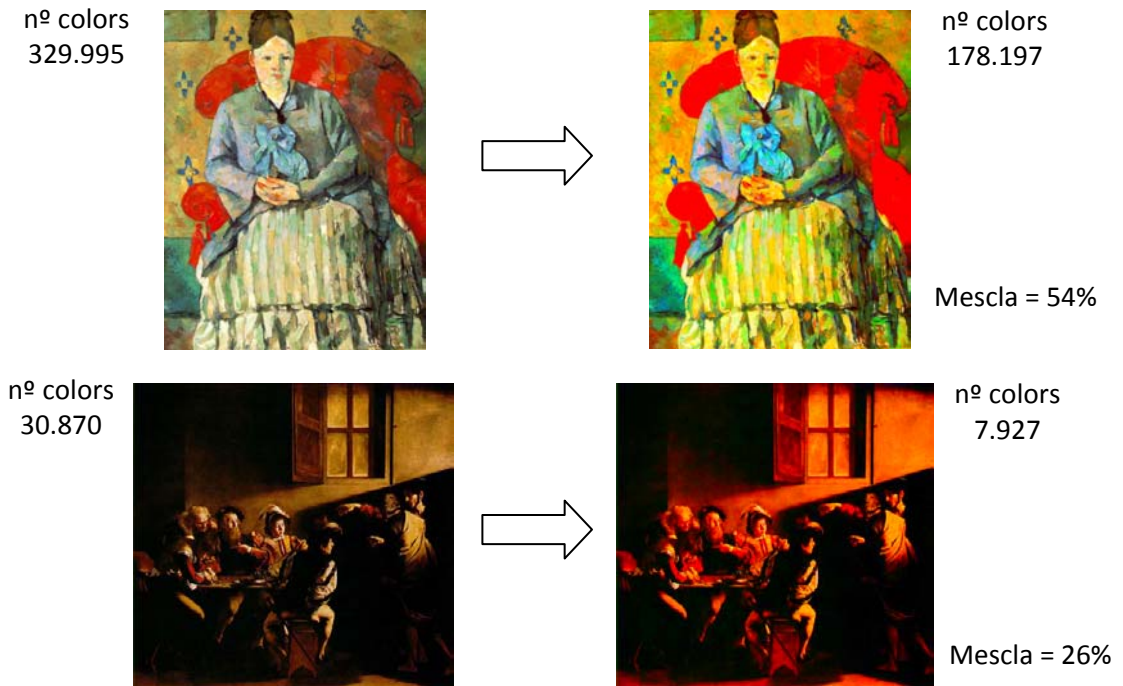


Figura 2: Mostres de l'ús colorista i valorista, determinats amb el mètode de la saturació, i valors de la variable mescla

Lluminositat: Variable contínua que correspon a la mitjana de la intensitat de llum dels píxels de la imatge. És mesurable amb el software comercial *Adobe Photoshop*.

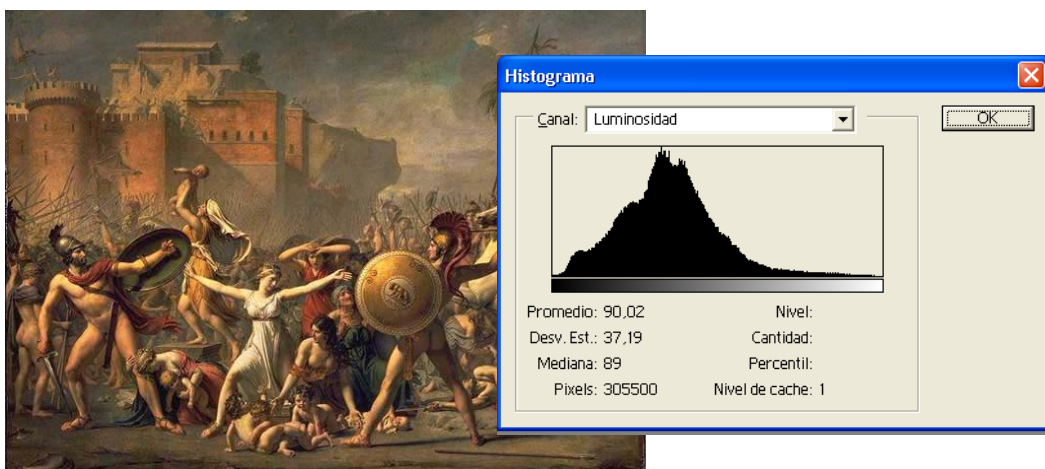


Figura 3: Les Sabines de David i el seu histograma de la lluminositat

Contrast: Correspon a la desviació estàndard (una mesura de la variabilitat) de la lluminositat i identifica la propensió a l'ús de contraposicions valoristes (llum-ombra). És mesurable amb *Adobe Photoshop*.

Tons pastel: Mesura el percentatge de píxels que tenen tons formats per qualsevol barreja d'un color saturat i blanc. Aquesta variable es determina a través de la mesura dels components S (saturació) i I (intensitat o brillantor) en obtenir les imatges en el sistema HSI¹. És considerat to pastel aquell que té un grau de saturació entre 20-80% i brillantor entre 80-100% simultàniament. La mesura es fa a través del mostrejador de colors de l'*Adobe Photoshop*.

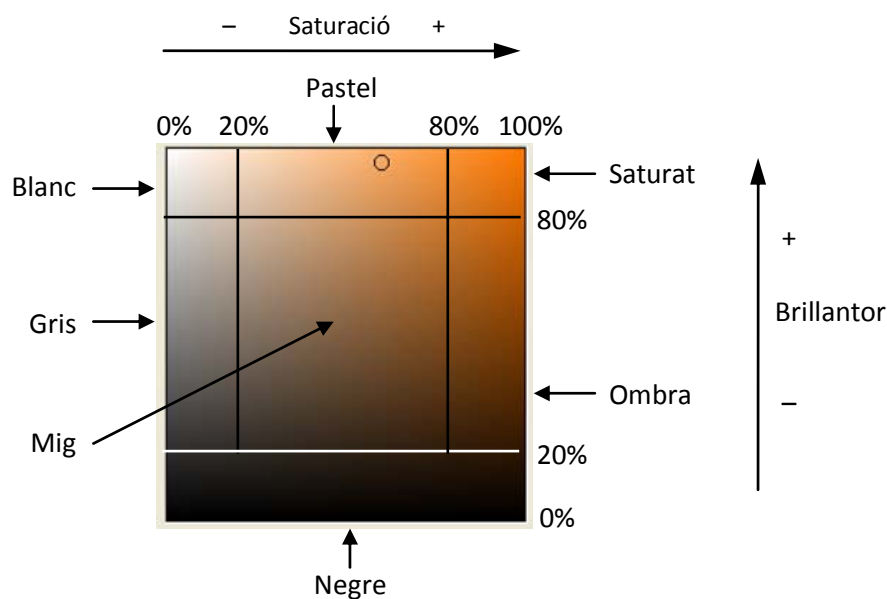


Figura 4: Quadre de tonalitats per a un matís constant

Tons ombra: Mesura el percentatge de píxels que tenen tons formats per qualsevol barreja d'un color saturat i negre. Aquesta variable es determina també a través de la mesura dels components S (saturació) i I (intensitat o brillantor) en obtenir les imatges en el sistema HSI. És considerat to ombra aquell que té un grau de saturació entre 80-100% i brillantor entre 20-80% simultàniament.

Tons mig: Mesura el percentatge de píxels que presenten colors complint una saturació 20-80% i intensitat 20-80% simultàniament.

¹ Sistema de coordenades per definir les colors: *Hue* (matís), *Saturation* (grau de saturació) i *Intensity* (intensitat de llum)

Tons saturats: Mesura el percentatge de píxels que tenen tons de color pur sense addició de blanc, negre ni gris que li resti saturació. Queden classificats com a saturats els tons que tinguin un valor dels paràmetres S i I entre el 80 i el 100% (quadrat de l'extrem superior dret de la Figura 4).

Matís de la màxima saturació: Degut a que la màxima saturació obtenible d'un pigment prové d'una substància en la qui no hi ha barreja de pigments, ha estat avaluat per cada obra quins són els matisos de màxima saturació sota el concepte de que poden ser els promotors de la completa gama de tonalitats de cada peça. L'obtenció d'aquesta informació es basa en el valor màxim del canal S en obtenir les imatges en el sistema HSI. D'aquesta informació se n'ha extret pel posterior tractament tant el valor del matís màxim saturat (H), com el propi valor de saturació (S). Aquesta mesura també es fa a través del mostrejador de colors de l'*Adobe Photoshop*.

Gradació: Aquesta és una variable qualitativa que identifica diferents formes de graduar els colors per representar la llum i l'ombra. Les categories que s'han definit per aquesta variable són:

MON: Mig-Ombra-Negre.

SON: Saturat-Ombre-Negre

PMN: Pastel-Mig-Negre

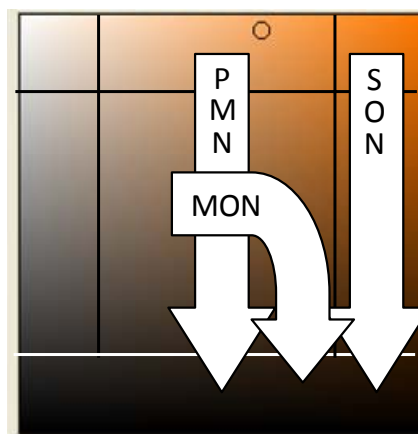


Figura 5: Gradacions valoristes principals

Gamut cromàtic: En aquest treball va crear-se un gràfic específic per identificar la paleta del pintor dins d'una de les classes monocroma, bicolor, triada bàsica, triada secundària o policromia. Aquest gràfic ha estat anomenat gamut per analogia als gràfics que representen l'espai visual reproducible per un determinat dispositiu electrònic (monitors d'ordinador, pantalles de televisió, etc.). Es tracta d'un gràfic de coordenades polars que conté la informació del matís de color (en graus) i el nivell de saturació (lineal sobre el radi).

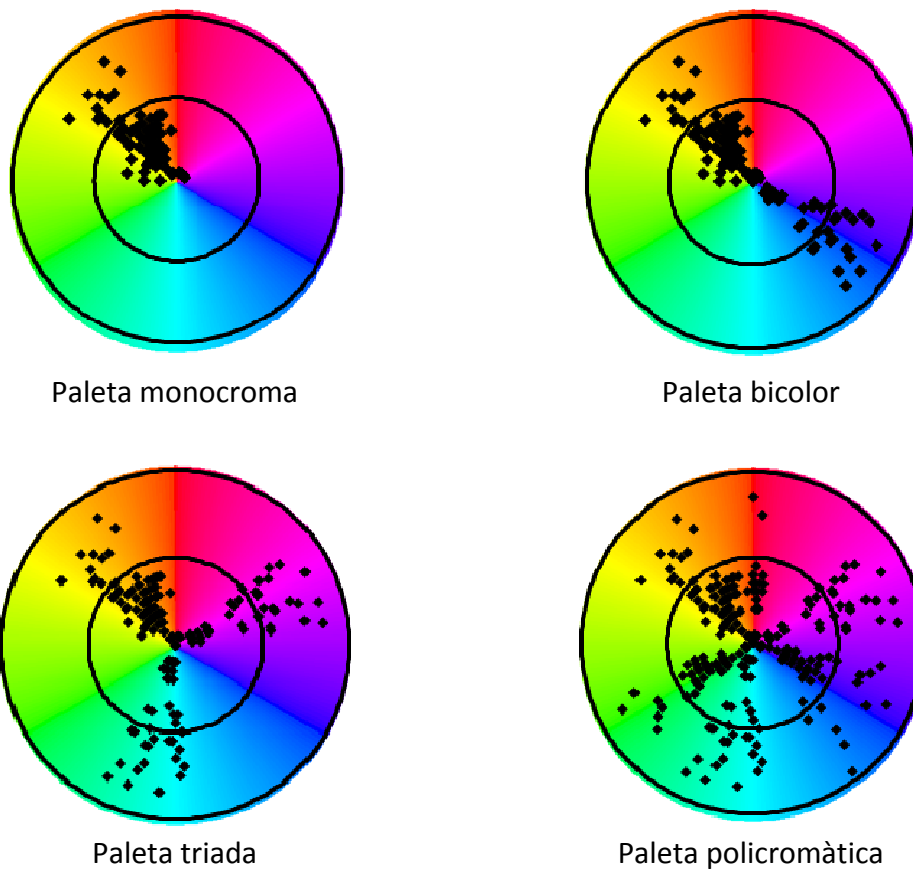


Figura 6: Gamuts pels diferents tipus de paleta

Tipus de contorn dels objectes: La pintura de caire valorista i amb finalitat de representar els objectes, llocs i persones de la manera més semblant a la realitat, té en comú un tipus de gradació que enganya el nostre cervell per tal de simular allò que es vol representar. D'altra banda, la pintura d'estils propers a l'impressionisme, postimpressionisme i fauvisme tenen en comú un tipus de gradació i pinzellada distingible de l'anterior pel fet de generar els colors de forma retiniana (dins de l'ull, sense mescla prèvia sobre la paleta del pintor). Basat en algorismes aplicats en el camp de la visió artificial que permeten als robots distingir els objectes de les seves ombres, va realitzar-se un programa en *MatLab* que, a partir del canal de lluminositat d'una imatge digital, la classifica en un dels grups anomenats contorn figuratiu, contorn no figuratiu i contorn artificial.



Figura 7: Dona reclinada de'n Boucher original i després d'aplicar la segona derivada on pot apreciar-se que el resultat és pràcticament un dibuix dels contorns clarament figuratiu

Perspectiva: Variable que identifica el mecanisme emprat per l'autor per donar sensació de tridimensionalitat. La perspectiva pot ser lineal (basada en línies rectes que convergeixen cap a un o dos punts focals sobre l'horitzó), aèria (fonamentada en l'ús de contrastos alts en primers plans i lleus en la llunyania, tot observant l'existència de gradacions de llum valoristes) o cromàtica (basada en relacions calent-fred per simbolitzar prop-lluny).



Figura 8: Exemples de perspectiva lineal, aèria (valorista) i cromàtica

Resultats de l'estudi de datació d'obres

Mitjançant l'aplicació de la regressió lineal múltiple s'ha determinat un model estadístic que permet conèixer l'any de realització d'un obra amb un error inferior a 50

anys per un nivell de confiança del 95% (en el 95% del casos, el valor real és el previst pel model amb un error de ± 50 anys).

Aquest model ha estat provat amb un joc de dades extern, constituït per un 25% del total d'obres mostrejades, i no s'han utilitzat en la construcció del model. El resultat és satisfactori i mostra que el model funciona correctament amb qualsevol pintura que correspongui al període estudiat, per més que "no l'haguem vist mai abans".

Els requisits sobre els que es recolza el model lineal són complerts satisfactòriament (linealitat, normalitat, variància constant i independència). La seva explicabilitat (mesurada a través del coeficient de determinació) és del 96%.

Concretament el model resultant té com a resposta l'any de realització i com a variables explicatives el grau de mescla, tipus de perspectiva, tipus de gradació i tipus de contorn.

$$\text{Any} = 1694 + 0,982 \text{ Mescla} - 45,5 \text{ CF} + 27,5 \text{ CFA} + 125 \text{ PC} \\ + 51,2 \text{ PA} - 125 \text{ MON} - 69,9 \text{ SON} + 44,8 \text{ PMN}$$

- On
- CF: contorn de tipus figuratiu
 - CFA: contorn de tipus artificial
 - PC: perspectiva cromàtica
 - PA: perspectiva aèria
 - MON: gradació mig-ombra-negre
 - SON: gradació saturat-ombra-negre
 - PMN: gradació pastel-mig-negre

La variable mescla és continua i el seu valor es pot obtenir mitjançant el software *Image Analyzer*. Totes les altres són variables binàries que prenen valor 1 (= Sí) o 0 (= No). La variable CFA s'avalua a través d'un programa de MATLAB desenvolupat expressament per aquest treball. Els valors de la perspectiva s'obtenen a partir de l'observació del quadre i segons la definició de cada tipus. Finalment, si la gradació utilitzada pel pintor per representar la llum i l'ombra correspon a algun dels tres tipus que formen part del model es valora a través de mesures que es poden fer amb l'Adobe Photoshop.

La Figura 9 mostra tres exemples d'aplicació del model per estimar l'any en que va ser realitzada una obra.



La Farga de Vulcano. Velázquez, 1630

Mescla:	28
Contorn tipus figuratiu:	Sí (=1)
Contorn tipus artificial:	No (=0)
Perspectiva cromàtica:	No (=0)
Perspectiva aèria:	Sí (=1)
Gradació Mig-Ombra-Negre:	No (=0)
Gradació Saturat-Ombra-Negre:	Sí (=1)
Gradació Pastel-Mig-Negre:	No (=0)
Any previst pel model:	1657
Error de previsió:	+ 27 anys



Els afusellaments del 3 de maig. Goya, 1814

Mescla:	39
Contorn tipus figuratiu:	No (=0)
Contorn tipus artificial:	No (=0)
Perspectiva cromàtica:	No (=0)
Perspectiva aèria:	Sí (=1)
Gradació Mig-Ombra-Negre:	No (=0)
Gradació Saturat-Ombra-Negre:	No (=0)
Gradació Pastel-Mig-Negre:	Sí (=1)
Any previst pel model:	1828
Error de previsió:	+ 14 anys



Interior amb estoig de violí. Matisse, 1919

Mescla:	71
Contorn tipus figuratiu:	No (=0)
Contorn tipus artificial:	Sí (=1)
Perspectiva cromàtica:	Sí (=1)
Perspectiva aèria:	No (=0)
Gradació Mig-Ombra-Negre:	No (=0)
Gradació Saturat-Ombra-Negre:	No (=0)
Gradació Pastel-Mig-Negre:	No (=0)
Any previst pel model:	1916
Error de previsió:	-3 anys

Figura 9: Exemples d'aplicació del model a tres quadres de diferents èpoques

Utilitats del model de datació d'obres

Aquest model permet datar amb aproximació coneguda qualsevol pintura a l'oli produïda entre els segles XV i XIX. Però no és l'única utilitat pràctica que es desprèn, ja que també té validesa per identificar quins autors van avançar-se a la seva època; és a dir, quins artistes varen ser innovadors en front els que van aplicar tractaments més conservadors.

S'han trobat autors pels que el model troba un any inferior al real sistemàticament en les seves obres. Entre aquests tenim Ingres i David, fet esperable tenint en compte que pertanyen al moviment neoclàssic en el qual predomina el dibuix sobre el color amb una clara tendència a retrobar estils d'èpoques clàssiques.

D'altra banda, s'han trobat autors que destaquen per aplicar tractaments avançats al seu temps, per tant, podem considerar-los com a pintors més innovadors i que han marcat algun dels punts d'inflexió en l'evolució de la tècnica pictòrica. Per exemple, es destaca que Leonardo és aplicador precoç de la perspectiva aèria, Tiziano és innovador del frotis (que és detectat com a transició entre el valorisme i la mescla retiniana per la variable contorns), Turner presenta clars símptomes preimpresionistes i mostres de pèrdua de figurativisme i Monet és precursor de les gradacions amb ús predominant de tonalitats pastel i inexistència del negre, que és substituït pel color complementari i el blau sense mescla prèvia.

Aquesta mateixa interpretació aplicada a l'obra pictòrica d'un autor ens dóna una bona idea de les diferents fases evolutives del pintor en el temps: fase d'aprenentatge, acadèmica o imitativa, fase de cerca d'un estil propi, canvis posteriors en l'estil per influència d'altres coetanis, etc. Un bon exemple per estudiar l'evolució tècnica d'un pintor s'ha trobat en les obres de Monet. Aquest pintor mostra un fase acadèmica on aplica els recursos i tècniques de l'escola d'aquell temps, posteriorment fa un salt amb notables increments tant en l'extensió cromàtica de la paleta com en l'ús dels tons pastel, supressió dels tons ombra i del negre, canvis de mecanisme en la perspectiva (menys lineal i aèria, cap a més cromàtica) i també pèrdua dels contorns figuratius. Finalment, Monet aplica tècniques de caire fauvista quan aquest moviment encara no s'ha fet veure en els autors que el lideraran (Matisse, Signac, Derain). Es fa notar que s'ha trobat una estreta relació amb l'article científic de Dalf Dahm "Painting the world with different eyes", on es dóna com a explicació del sobtat canvi d'estil el problema de cataractes que el pintor va patir en aquesta època.

Estudi dels moviments artístics

Seguint amb la modelització estadística, basat en la regressió logística ordinal de resposta politòmica, ha estat determinat un model que permet classificar les obres dins d'un dels següents corrents artístics: Renaixement, Barroc, Rococó, Neoclassicisme, Romanticisme, Impressionisme, Postimpressionisme i Fauvisme.

Aquest model té com a variables explicatives el grau de mescla, la paleta (gamut) i la composició. Produeix classificacions correctes en el 89% de les obres i té un funcionament correcte amb un joc de dades extern (no utilitzades en la construcció del model i que suposen un 25% del total de les considerades en el treball).

Ha estat estudiat un segon model considerat més innovador des del punt de vista estadístic. Es tracta de la regressió logística ordinal sobre les components obtingudes per mínims quadrats parcials a partir de les variables contínues grau de mescla, tons pastel, tons saturats, tons mig i lluminositat.

Aquest segon model ha superat una validació amb dades externes que suposen aproximadament el 25% del total de les incloses al treball i que no van ser utilitzades en la construcció del model. Té una capacitat de classificar correctament lleugerament superior a l'anterior, un 93%.

Donat que el primer model té com a punt feble una lleugera baixa sensibilitat en el moviment Rococó (nombre de classificats correctes com a Rococó respecte tots els classificats com a Rococó) on mostra al mateix temps una molt alta especificitat (nombre de classificats correctes com a època diferent a la Rococó respecte tots els no classificats com a Rococó), l'ús complementari dels dos models recolza fortament la classificació atorgada a les obres.

Resum i conclusions

A través del tractament informàtic de les imatges digitalitzades ha estat possible descobrir alguns mecanismes que marquen el caràcter d'un pintor i els trets que diferencien uns moviments d'uns altres. Aquests mecanismes tenen mesures objectives vàlides que permeten ser tractades per construir models estadístics.

Els models estudiats permeten datar obres amb aproximació coneguda sempre que s'hagin pintat amb la tècnica de l'oli, entre els segles XV i XIX. És possible classificar les obres en els diversos estils o corrents artístics estudiats amb un alt grau classificatori. Els mateixos models determinats permeten també l'estudi evolutiu de la tècnica d'un

pintor al llarg de la seva trajectòria, així com la identificació dels artistes més innovadors i els més conservadors.

Aquest treball, desenvolupat durant aproximadament 2 anys sobre una pinacoteca de més de 200 olis pintats entre els segles XV i XIX, mostra l'existència de mecanismes identificables objectivament possibilitant datar obres amb un error de 50 anys dins del període estudiat de 5 segles, potenciar els estudis d'autoria dubtosa (identificació de falsificacions) i objectivar els trets diferencials d'un moviment artístic o d'un autor específic. A més, obre també noves vies d'investigació ampliant coneixements sobre els autors, especialment a través dels cromogrames i anàlisi de la pinzellada. També obre camí en el camp de la reconstrucció de la imatge original d'un quadre que ha quedat sotmès a processos de degradació que han causat el viratge de determinats colors.

(Projecte de la Llicenciatura d'Estadística, presentat el juny de 2006 amb el títol "Aplicació de tècniques estadístiques a l'estudi de l'art pictòric dels segles XV-XIX –del Renaixement al Fauvisme–")

Aquest projecte tanca la trilogia "Literatura, música, pintura" i estadística. Pel que sabem, és un projecte pioner en la creació d'un model estadístic per datar pintures. Probablement, els avenços en el camp de la quantificació de l'aspecte visual faran que aquestes tècniques es puguin aplicar cada vegada amb més precisió. El camí està obert.



Miquel Romero va estudiar enginyeria tècnica química a la UPC perquè va començar a treballar a la indústria farmacèutica i li agradava aquest món de les mol·lècules. Després, va fer la Llicenciatura d'Estadística, també a la UPC, perquè es va adonar que li era imprescindible tant en la investigació de nous productes, com en la millora dels processos ja desenvolupats. Actualment és el responsable de l'assegurament de la qualitat dels medicaments dels Laboratoris Almirall, i desenvolupa també una activitat docent com a professor d'*Estadística en Tecnologia Farmacèutica* a la Facultat de Farmàcia de la Universitat de Barcelona.

La seva passió per la pintura li ve de molt petit. Ens explica que va començar a pintar a l'oli als 7 anys i ha fet diverses exposicions. "La passió per la pintura i pel tractament de les dades ha fet que dediqués el meu temps a trobar-hi lligams ... i els hi ha!"

Coneixement i protecció del medi ambient

4

Influència de les condicions climàtiques en el creixement dels arbres de pi roig a Catalunya

Projecte realitzat per: **Natàlia Adell Calvet**
Dirigit per: **Llorenç Badiella Busquets**
Tutoritzat per: **Josep Anton Sánchez Espigares**

El canvi climàtic i les seves possibles conseqüències és un tema important, que desperta moltes discussions i controvèrsies, i en el qual l'ús de l'estadística és necessari per entendre el què realment està passant.

Entre molts d'altres, el canvi climàtic podria tenir efectes sobre el creixement dels arbres. Hi ha factors, com l'augment de la sequera, que hi juguen en contra i d'altres, com l'augment del diòxid ed carboni (CO₂), que sembla que ho fan a favor a curt termini, però els efectes a llarg termini no estan clarament definits.

Aquest estudi, realitzat pel Servei d'Estadística de la Universitat Autònoma de Barcelona, per iniciativa del Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals (CREAF) de la mateixa Universitat, i en el què ha participat activament l'autora del projecte, analitza el creixement d'una mostra d'arbres de pi roig a Catalunya i estudia la relació que té l'evolució del seu creixement amb l'evolució de variables ambientals com la temperatura, les precipitacions i la concentració de CO₂. L'objectiu de l'estudi és intentar identificar com afecten les variacions d'aquests factors en el creixement d'aquest tipus de pins.

Plantejament general i objectius de l'estudi

Valorar de forma científica l'impacte dels canvis del clima en la natura en general, i en el creixement dels arbres en particular, és una tasca important per conèixer les possibles implicacions que pot tenir una actitud descuidada en front el món que ens envolta.

Els principals factors que es creu que poden modificar el creixement dels arbres són l'anomenat canvi climàtic i la quantitat de diòxid de carboni present a l'ambient (factors que segurament estan relacionats). Per una banda, se sap que el canvi climàtic fa que hi hagi més sequedat a l'ambient, fet que podria tenir un efecte negatiu en el creixement dels arbres, i per altra banda, degut a que els arbres absorbeixen CO₂ per produir cel·lulosa i fusta, també podria ser que l'augment de CO₂ a l'atmosfera fos beneficiós pel seu creixement.

Per aprofundir en aquests temes amb dades del nostre entorn, el CREA (Universitat Autònoma de Barcelona) va plantejar aquest estudi amb el suport del Servei d'Estadística de la mateixa universitat. L'autora del projecte ha participat directament en el plantejament i la realització de les anàlisis estadístiques. Els objectius que es plantegen són:

- Detectar si el patró de creixement dels arbres ha canviat al llarg del temps.
- Detectar si l'efecte del canvi climàtic ha fet variar la taxa de creixement en els arbres de pi roig a Catalunya.
- Observar si hi ha diferències en el creixement dels arbres respecte les diverses parcel·les (diferents regions de Catalunya).

Per assolir els objectius plantejats es parteix d'una base de dades de pi roig de Catalunya (que és comentarà més endavant) i a partir de la qual es realitzaran models estadístics per explicar l'evolució del creixement en funció de determinades variables climatològiques.

Per què el pi roig?

El pi roig (*pinus sylvestris*) és una de les espècies d'arbres més extensament distribuïdes de la Terra. Tot i que les majors poblacions d'aquesta espècie es troben en regions boreals, el pi roig també ocupa grans zones en regions relativament seques de la conca mediterrània, des de la Península Ibèrica fins a Turquia. Les poblacions

espanyoles de pi roig constitueixen el límit sud del rang de l'espècie, cosa que fa que aquestes poblacions siguin especialment interessants per estudiar els impactes del canvi climàtic.

Recollida de dades

A l'hora d'estudiar el creixement dels arbres, una de les magnituds més útils és la distància entre els anells que es veuen en fer un tall transversal (veure Figura 1), ja que aquestes distàncies contenen informació ecològica i històrica a llarg termini.

La formació dels anells de la llenyosa dels arbres es produeix d'una manera rítmica, ja que els arbres creixen en un moment determinat de l'any, cap a la primavera, a l'època en la que comença la sequera, i recullen informació dels estímuls ambientals que afecten les seves funcions fisiològiques (com ara la temperatura, les precipitacions...), tant de l'any en curs com de l'any previ. Per aquest motiu aquesta mesura resulta molt interessant i representativa del creixement dels arbres.



Figura 1: Secció transversal d'un tronc on s'observen els anells d'un arbre

Origen de les dades

La col·lecció d'anells emprada per aquest estudi es va obtenir entre 1988 i 1998 pel CREAM (Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals) com a part de l'Inventari Ecològic i Forestal de Catalunya. Aquest inventari incloïa un total de 10.664 parcel·les distribuïdes aleatòriament al llarg de tota l'àrea forestal catalana (1.214.408 Ha de bosc). El pi roig és present en 3.219 d'aquestes parcel·les (un 30,2%), i és l'espècie dominant en 1.962 (18,4% de les parcel·les mostrejades). L'àrea total forestal estimada de pi roig a Catalunya és de 219.754 Ha, representant la segona espècie més abundant d'arbre a la regió després del pi blanc (*Pinus Halepensis*).

Procés de mesura

Per recollir les dades referents a les mesures dels anells de les llenyoses s'ha emprat una eina anomenada barrina de Pressler (Figura 2 esquerra). Amb aquesta eina es realitza un forat a l'arbre a uns 1,3 m d'alçada respecte el terra i s'extreu un testimoni de fusta. El testimoni de fusta consisteix en una petita mostra del tronc de l'arbre en la qual es poden observar els seus anells. El testimoni es guarda en una protecció rígida, també de fusta, per tal de mantenir la seva forma recta i així poder realitzar les mesures correctament i amb el menor error possible, tal i com es mostra a la Figura 2 (fotografia de la dreta).



Figura 2: *Barrina de Pressler (esquerra) i testimoni de fusta (dreta)*

D'aquest testimoni de fusta s'obté la mesura del gruix anual de creixement de l'arbre (equivalent a l'increment de radi de l'arbre entre dos anells). És a dir, des de l'any que es mostreja l'arbre es va retrocedint anualment, anell per anell, prenent la mesura de la distància entre els anells, obtenint així la mesura del gruix de l'anell anual (expressat en mm). Aquesta mesura s'anomenarà posteriorment *anell*. En la següent figura es pot observar el procediment d'obtenció de la mesura "gruix de creixement anual" d'una manera esquemàtica i més visual.

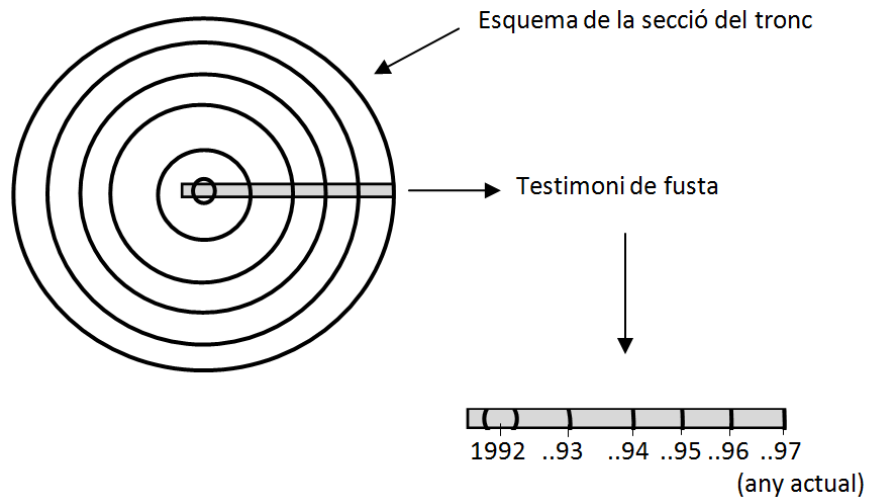


Figura 3: Esquema de l'obtenció dels testimonis de fusta

Dificultats en la recollida de les dades

El fet que el tronc dels arbres no sigui una circumferència perfecta introdueix un cert error a l'estudi, ja que a l'hora de recollir la mostra és possible que s'utilitzi la part més estreta o més gruixuda de l'arbre (Figura 4, esquerra). L'avantatge de l'estudi del pi roig és que el seu tronc té una forma bastant rodona, però, tot i així, cal comprovar que la distància al centre és aproximadament la meitat del seu diàmetre.

Un altre inconvenient que s'ha trobat quan es recull la mostra és que resulta difícil apuntar al centre de l'arbre, sobretot en els arbres vells ja que aquests tenen un diàmetre superior als joves. Aquesta dificultat fa que hi hagi la possibilitat de que no s'obtingui la informació relativa als anells corresponents als primers anys de vida de l'arbre (Figura 4, dreta) i no es pugui utilitzar la informació d'aquest arbre. Això obliga a ser molt curós en el procés de mesura.

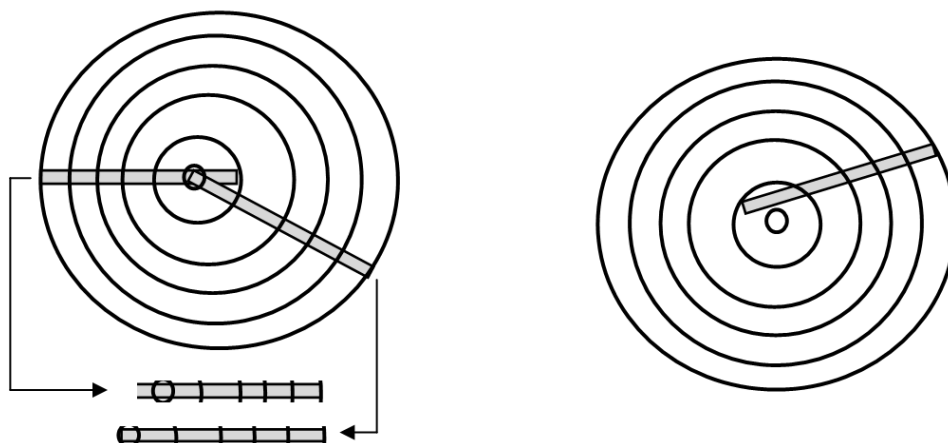


Figura 4: Possibles errors deguts a l'estructura de l'arbre i a la dificultat d'apuntar al centre

Dades obtingudes

De la base de dades original es van seleccionar aquelles parcel·les en les que el pi roig era l'espècie dominant i en ella s'havien mostrejat almenys 4 exemplars. Després de validar i depurar les dades es disposa d'un total de 548 arbres distribuïts en 135 parcel·les.

Per cada arbre es té una sèrie temporal amb l'increment anual del radi dels anells. A més, també es disposa de la seva alçada i diàmetre en el moment de ser inclosos a la mostra. A partir de les mesures dels anells es va calcular, per cada any, l'anomenada àrea basal (àrea entre anells) i el seu diàmetre corresponent.

Altrament, es disposa d'informació climàtica d'arreu de Catalunya de diversos anys, i per parcel·les.

De forma resumida, les variables que es contempen en aquesta anàlisi es poden classificar en els següents tipus:

- Variables identificadores de les observacions: informació referent a l'arbre en qüestió, com el número identificador, la parcel·la a la qual pertany, l'any en què es va prendre la mesura o l'edat de l'arbre.
- Variables dendrocronològiques per arbres: variables relatives a les característiques físiques dels arbres tals com alçada, mida dels anells i variables derivades d'aquestes mesures (àrea basal i diàmetre de cada any de vida de l'arbre).
- Variables climatològiques generals per anys: mesures mitjanes anuals de les temperatures i les precipitacions, evapotranspiració potencial anual, índex de sequera anual i contingut de diòxid de carboni a l'hemisferi nord.
- Variables climatològiques i físiques per parcel·les: temperatures i precipitacions mitjanes, índex de sequera, pendent del vessant i litologia (estat del sòl).
- Variables dendrocronològiques per parcel·les: informació referent a si hi ha evidències de gestió humana (per exemple, tales d'arbres).

Anàlisi descriptiva

Dades dels arbres

L'anàlisi gràfica de les dades dels arbres confirmen el comportament esperat: l'alçada té una relació lineal amb el diàmetre (Figura 5), però sorprèn el fet que els diàmetres

tendeixin a agrupar-se al voltant de valors concrets amb increments de 5 cm (12, 17, 22, 27, 32 cm) el que fa pensar en alguna peculiaritat del procés de mesura, o que es van tendir a escollir arbres d'uns gruixos determinats.

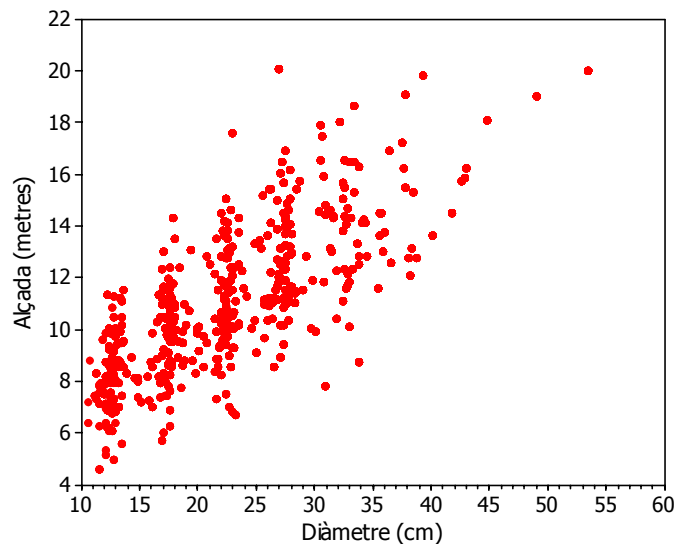


Figura 5: Diagrama bivariant entre l'alçada i el diàmetre dels arbres

La relació entre alçada i edat de l'arbre es pot veure a la Figura 6. S'observa una relació creixent fins a una certa edat en què l'alçada s'estabilitza. Podria semblar que l'alçada té un màxim al voltant dels 50-60 anys i després torna a baixar, però això, evidentment, no és cert. El nombre d'arbres de més de 70 anys és escàs, i també ho són els arbres de més de 15 metres d'alçada tal com es pot veure en els histogrames marginals de la mateixa figura. Per aquesta raó, no tenim arbres vells i alts a la mostra.

Es pot realitzar també un estudi transversal per tal d'observar les característiques dels arbres en el moment en què tenien 5, 10, 15, 20 i 30 anys d'edat. S'observa que com més vells són els arbres, el gruix dels anells disminueix. En canvi, respecte el diàmetre, en ser acumulatiu, com més vells són més diàmetre tenen (Figura 7).

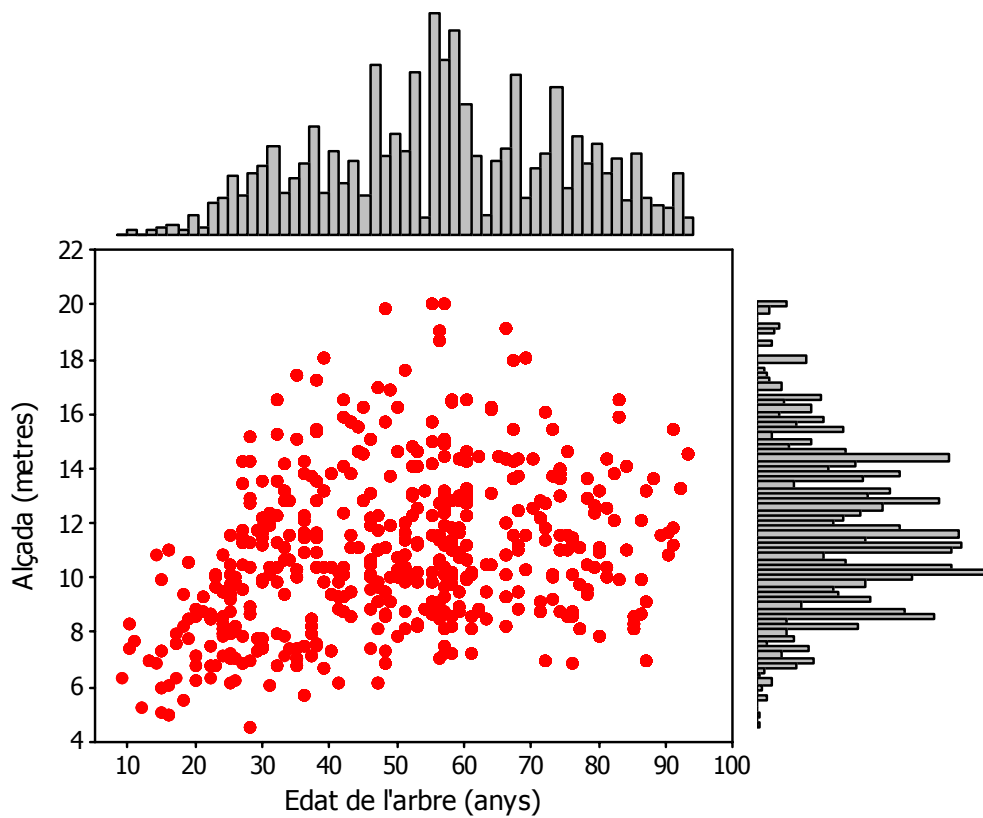


Figura 6: Gràfic de punts de l'alçada respecte les edats dels arbres al moment del mostreig

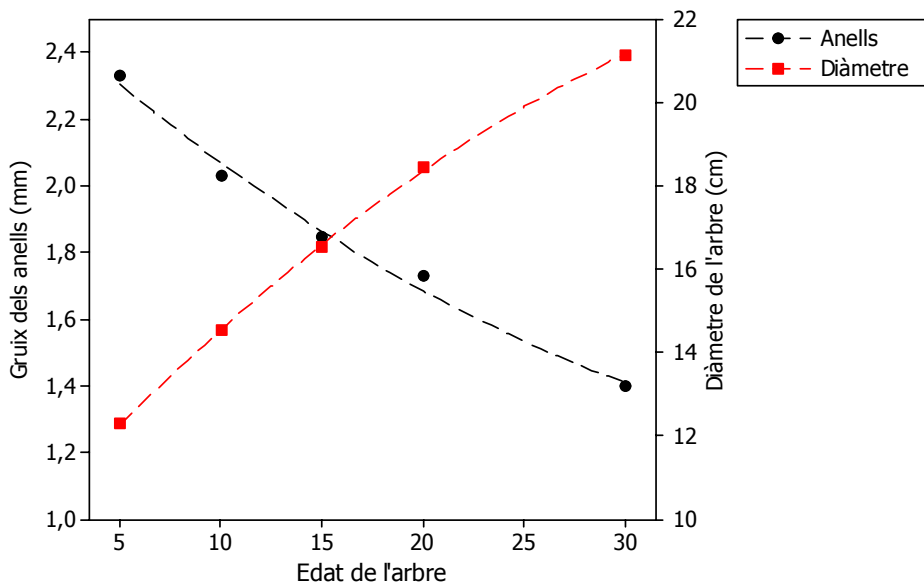


Figura 7: Valors del gruix dels anells i el diàmetre mitjans dels arbres de la mostra a les edats de 5, 10, 15 20 i 30 anys. S'ha afegit també la corba de regressió que millor ajusta aquests punts

La Figura 8 mostra l'evolució del diàmetre per un conjunt d'arbres de la mostra (els que tenen un número d'identificació múltiple de 20) i es pot veure que el diàmetre creix contínuament, tot i que no sempre al mateix ritme.

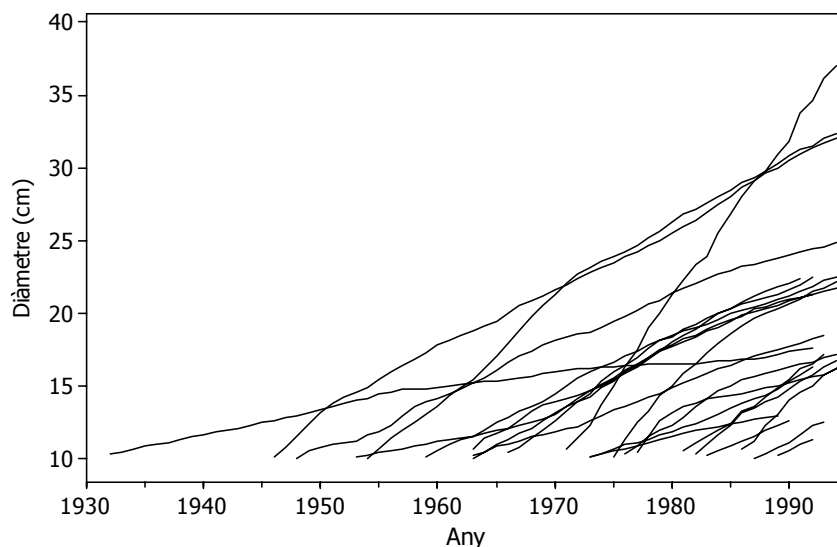


Figura 8: Sèrie temporal de les variables longitudinals

Dades climatològiques

Es disposa de les dades climatològiques de gairebé un segle. De la mesura de la concentració de CO_2 s'ha aconseguit tenir les dades entre els anys 1900 i 1997 i de la resta de variables climatològiques es disposa de les dades entre el 1901 i el 1997 (ambdós inclosos).

La temperatura mitjana anual mostra una tendència clarament creixent. Per analitzar si ha diferències importants entre parcel·les, aquestes s'han dividit en 3 grups, aproximadament de la mateixa grandària, segons sigui la seva temperatura mitjana: un grup està format per les parcel·les que tenen una temperatura mitjana per sota de $8,35^\circ\text{C}$, un altre amb temperatures mitjanes d'entre $8,35$ i $8,73^\circ\text{C}$, i un tercer amb les parcel·les que han tingut una temperatura mitjana per sobre de $8,73^\circ\text{C}$. La Figura 9 mostra l'evolució de les temperatures en aquests 3 grups de parcel·les. Les diferències entre elles no són rellevants, però la tendència creixent està clara.

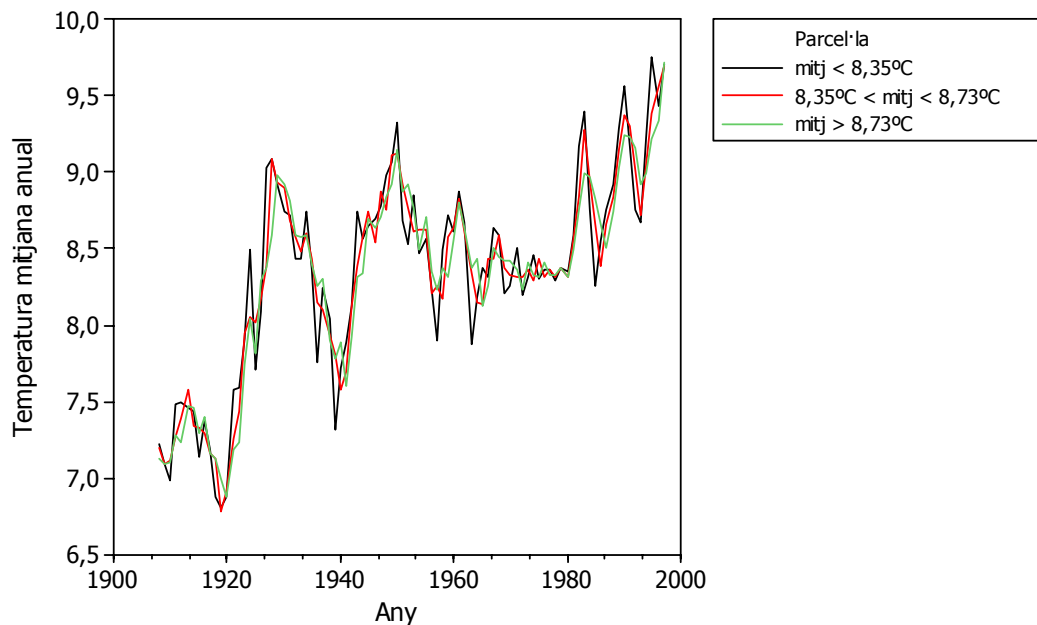


Figura 9: Evolució de la temperatura mitjana anual. Les parcel·les s'han classificat en 3 grups segons la seva temperatura mitjana. Cada línia correspon a un grup.

Les precipitacions i l'índex de sequera no mostren cap tendència, però sí una important inestabilitat, amb anys plujosos seguits d'altres molt més secs. La Figura 10 mostra l'evolució de les precipitacions en el període en què es tenen dades, la mitjana de la precipitació anual ha estat de $960,73 \text{ m}^3$, i el rang està comprès entre $698,78 \text{ m}^3$ i $1323,4 \text{ m}^3$.

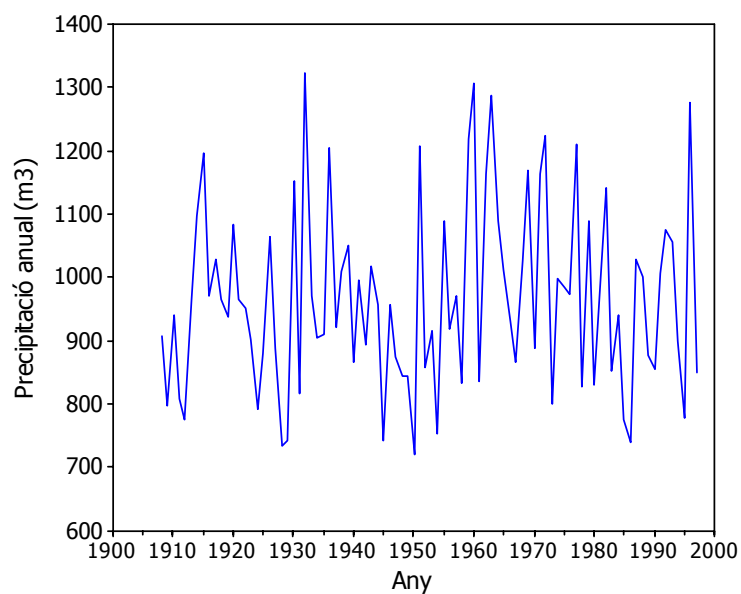


Figura 10: Evolució de la precipitació anual al llarg del temps

Com és d'esperar, la temperatura està inversament correlacionada amb la precipitació i l'índex de sequera. És a dir, a major temperatura menor precipitació i menor índex de sequera. A més, la precipitació està correlacionada amb menor grau amb el pendent del terreny.

En el gràfic de l'evolució de la concentració de CO₂ a l'hemisferi Nord (Figura 11, dades agafades del *Carbon Dioxide Information Analysis Center*, <http://cdiac.ornl.gov>) s'observa una tendència molt clara. Fins l'any 1935 hi va haver un lleuger creixement, entre el 1935 i el 1950 es va mantenir constant i a partir del 1950 hi ha hagut un augment molt pronunciat.

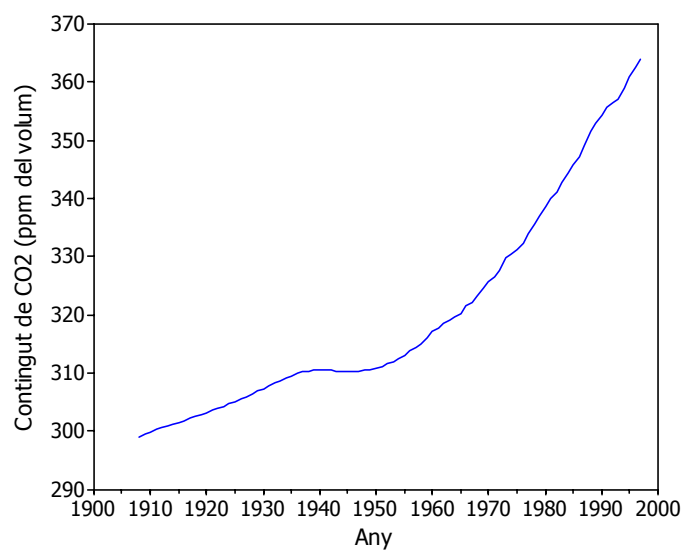


Figura 11: Evolució de la quantitat de diòxid de carboni entre 1900 i 2000 a l'hemisferi Nord

Relació entre les variables ambientals i el creixement dels pins

La creació d'un model que expliqui el diàmetre de l'arbre en funció de variables ambientals és una tasca que precisa l'ús de tècniques estadístiques avançades. S'ha tingut en compte que l'estructura de les dades és de tipus jeràrquic, ja que es va dividir la regió territorial de Catalunya en 135 parcel·les denses en contingut d'arbres de pi roig i cada parcel·la tenia entre 4 i 11 arbres (Figura 12). És a dir, les observacions entre els nivells (en aquest cas parcel·les o sèries) són independents, però les observacions dintre de cada parcel·la són dependents, ja que provenen de la mateixa subpoblació. Per tant, hi ha dos tipus de variabilitat: la variabilitat entre les diferents parcel·les i la variabilitat entre els arbres de dintre d'una mateixa parcel·la.

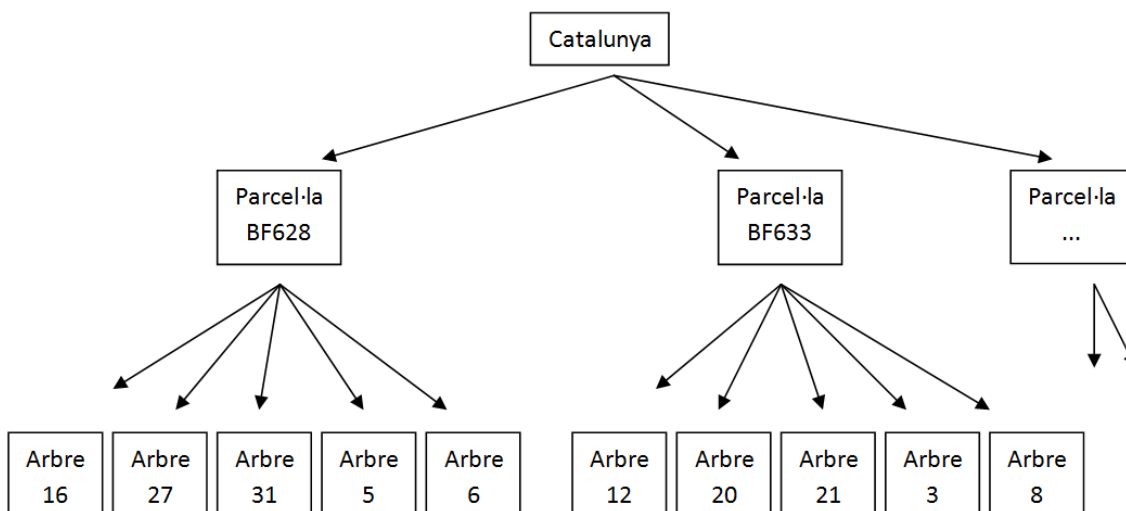


Figura 12: Estructura jeràrquica de les dades

Respecte al tipus de model, els anomenats models d'efectes mixtos són apropiats per a analitzar mesures repetides, dades longitudinals o dades multinivell (és a dir, quan hi ha presència de jerarquia) com en el nostre cas. S'han ajustat diferents models, i un dels més complets és un model mixt no lineal que té per expressió general:

$$y_i = a + (b - a) \cdot e^{-t \cdot c} + \varepsilon_i$$

On:

y_i : Diàmetre de l'arbre i

a , b i c : Expressions que estan en funció de les variables climàtiques

t : Temps, en anys

ε_i : Part aleatòria no explicada per les variables del model

Analitzant el model s'observa que en condicions on hi ha més concentració de CO₂, més temperatura i més precipitació, els arbres arriben a créixer més.

Malgrat que hom podria pensar a priori que els factors associats al canvi climàtic, com per exemple l'augment de la temperatura i de la concentració de diòxid de carboni, poden influenciar negativament el creixement del pi roig, els nostres resultats semblen indicar tot el contrari.

Estudis complementaris ajudarien a entendre millor aquesta qüestió. D'entre les diverses línies de recerca que podrien continuar el treball presentat en aquest projecte, es podrien esmentar les següents:

- Obtenir les dades climatològiques anuals i per parcel·la d'anys anteriors al 1900 per tal de disposar de més historial, fet que podria ajudar a estudiar en major detall l'evolució que han sofert.
- Analitzar el comportament d'altres espècies, com per exemple el de pi negre a Catalunya i contrastar i comparar els resultats obtinguts.
- També seria interessant estudiar l'evolució del creixement d'aquestes espècies durant el segle passat en altres indrets de la península ibèrica i d'Europa, per tal de poder obtenir una visió més global dels efectes del canvi climàtic sobre els boscos.

Com a conclusió, podem dir que les dades analitzades posen de manifest la dependència del creixement del pi roig a les condicions climatològiques (temperatura, precipitacions, concentració de CO₂) a l'àrea de Catalunya estudiada.

(Projecte del Màster en Estadística i Investigació Operativa, presentat el febrer de 2008 amb el títol "Models mixtos lineals i no lineals en l'anàlisi de creixement dels arbres de pi roig a Catalunya")

Evidentment, l'estadística és fonamental per posar de manifest els efectes del canvi climàtic. Aquest treball realitzat per un grup interdisciplinar en el que l'autora del projecte hi forma part com a estadística, ha estat acceptat per la seva publicació en la revista "Global Change Biology", una de les que té més impacte en l'àmbit de la biologia i el canvi climàtic.



Natàlia Adell va estudiar la Diplomatura d'Estadística a la UPC i va seguir amb la Llicenciatura, fent un dels cursos com a estudiant Erasmus a la Universitat de Bath (Anglaterra). També ha realitzat el Màster en Estadística i Investigació Operativa de la UPC. Actualment treballa com a consultora estadística al Servei d'Estadística de la Universitat Autònoma de Barcelona.

5

Cercant productes més nets i eficaços per lluitar contra les plagues dels fruiters

Projecte realitzat per: **Lourdes Rodero de Lamo**

Dirigit per: **Josep Ginebra i Molins**

La mosca mediterrània de la fruita s'alimenta de multitud de fruits i pot fer malbé una bona part dels cultius fruiters. Els seus atacs són molt greus en els préssecs i les taronges però pot afectar també moltes altres fruites cultivades com pomes, peres, albercocs i figues.

Com a solució a l'atac d'aquestes mosques i als insecticides tradicionals (poc respectuosos amb el medi ambient) es proposen mètodes de trampeig. Aquests mètodes consisteixen en col·locar trampes amb substàncies atraients als arbres de manera que les mosques s'hi sentin atretes i hi entrin. La geometria de les trampes no permet que les mosques en puguin sortir un cop dins, i a més, s'hi afegeix un insecticida a l'interior de la trampa que les acaba matant.

La forma de les trampes ja està molt estudiada, però no està clar quin és l'atraient més efectiu. Per seleccionar el millor entre diferents alternatives cal fer proves, i aquestes proves han d'estar ben pensades i dutes a terme d'una forma molt curosa i ben planificada. Després, caldrà analitzar les dades obtingudes i treure conclusions.

La mosca mediterrània de la fruita

La *ceratitis capitata* o mosca mediterrània de la fruita és originària de la costa occidental d'Àfrica i s'ha estès per la majoria de les zones càlides i temperades d'arreu del món. A Catalunya és present al litoral sud, molt habitual a la Ribera d'Ebre i més esporàdica a la plana de Lleida i a la resta de la franja costanera.

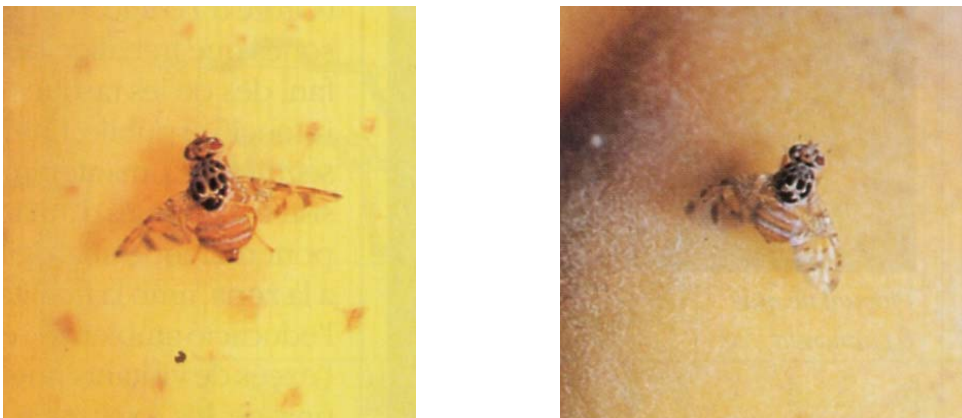


Figura 1: Masclle (esquerra) i femella de la mosca de la fruita

La mosca de la fruita és una espècie extremadament polífaga, és a dir, que s'alimenta de multitud de fruits. A finals de primavera s'inicia l'emergència, o cel, dels adults. Al cap de tres dies les femelles ja comencen la posta, dipositen els ous sota l'epidermis dels fruits que estan madurant i són a punt de verolar, amb una mitjana de 8 ous per picada. La larva completa el seu desenvolupament a l'interior del fruit en 6 o 7 dies, d'on salta a terra, s'enterra i forma una pupa o larva que entre 8 i 10 dies dona un nou adult. A la Figura 2 es pot observar una larva de mosca de la fruita.



Figura 2: Larva de la mosca de la fruita

El primer símptoma observable de l'atac en els fruits és la picada que efectua la femella en dipositar els ous, que ràpidament és envoltada per un cercle groc si la picada és sobre taronges o mandarines i de color marró si la picada és sobre préssecs o nectarines. La picada produeix, d'entrada, una via d'infecció de fongs que afavoreixen el deteriorament del fruit.



Figura 3: *Picades de la mosca de la fruita en un préssec i una taronja*

Els danys en els fruits els originen les larves que, en alimentar-se de la carn del fruit, formen una bossa amb la polpa del fruit totalment destruïda. Aquests danys, que poden passar desapercebuts durant la collita i la manipulació, causen fortes pèrdues durant la comercialització ja que els fruits afectats esdevenen totalment inservibles.



Figura 4: *Mostra dels danys de la mosca de la fruita en préssecs*

L'ús de trampes

Per evitar que les mosques de la fruita facin malbé els arbres fruiters es planteja l'ús d'unes trampes amb substàncies atraients a l'interior. Aquest mètode suposa estalvis econòmics per als agricultors i fa possible la lluita contra les plagues tot afavorint la preservació de l'entorn.

Els mètodes de trampeig consisteixen en la col·locació d'unes trampes als camps de fruiters. Cada trampa conté una substància atraient que atreu les mosques cap a ella. A més, les trampes estan dissenyades de manera que les mosques no en poden sortir i contenen un insecticida que les mata. A la Figura 5 es pot observar un model de trampa per capturar la *ceratitis capitata*.



Figura 5: Exemple de trampa per a mosques de la fruita

La geometria de les trampes està molt ben estudiada i existeixen models comercials barats i pràctics, però hi ha diferents productes que es poden utilitzar com a atraients, alguns que es comercialitzen i d'altres de fabricació casolana. L'objectiu de l'estudi era comparar l'eficàcia de quatre atraients diferents que anomenarem A1, A2, A3 i A4. Tres dels atraients són experimentals i un d'ells és comercial.

Disseny de l'experiment

Quan es planifica la recollida de les dades cal estar atent a tots els detalls. Per exemple, és possible que en una finca, amb unes característiques específiques de tipus de terra, humitat, corrents d'aire, etc, un atraient sigui més eficaç que els altres, però que en una altra finca els resultats siguin diferents. Per estar segurs que els resultats no depenen de la finca, l'estudi s'ha fet simultàniament en quatre finques localitzades

al Montsià i a la Ribera d'Ebre que s'anomenen Barranc, Vergel, Fornòs i Balada. Es considera que aquestes quatre finques dedicades al cultiu d'arbres fruiters són representatives de les que hi ha en aquesta zona.

A cada finca s'han col·locat tres bateries o fileres de quatre trampes cadascuna, una per cada tipus d'atraient. Les bateries de trampes són independents entre si, és a dir, dins de cada bateria, les trampes estan separades uns 40-50 metres per evitar la possible interferència entre els atraients de cada trampa. L'ordre de col·locació de les trampes per cada bateria pot ser diferent.

A cada finca, doncs, s'han col·locat dotze trampes, que faran un total de quaranta-vuit trampes si comptem les de les quatre finques.



Figura 6: Trampa per a mosques de la fruita en una de les finques de l'estudi

Les trampes s'han revisat uns dos cops per setmana adaptant els dies entre revisió al nivell de captures de cada moment, de manera que es deixaven passar més dies si no hi havia suficient nombre de captures. En cada revisió s'han comptat el nombre de mosques de la fruita capturades distingint mascles de femelles.

Per tal d'evitar la possible influència de la ubicació de la trampa en la bateria de trampes i, en conseqüència, dins la finca, cada dia de revisió s'ha realitzat una rotació de totes les trampes; és a dir, s'han canviat de posició les trampes d'una mateixa bateria. Cada quatre revisions, i un cop que totes les trampes han passat per totes les posicions disponibles, es tanca un cicle, i es torna a començar amb un altre. S'han recollit un total de sis cicles amb durades que van d'entre els nou dies el més curt i divuit dies el més llarg.

Resultats obtinguts

La variable resposta que s'analitzarà és el nombre de captures de mosques femella. Només es tenen en compte les mosques femella perquè són aquestes les que fan malbé la fruita en dipositar els ous. La taula 1 conté aquestes dades.

Taula 1: Nombre de mosques femella atrapades per cicle, atraient i finca

Cicle	Atraient	Finca			
		Barranc	Vergel	Fornòs	Balada
1. Del 15 de juny al 2 de juliol (18 dies)	A1	215	152	62	612
	A2	130	105	14	344
	A3	162	116	23	363
	A4	247	215	56	747
2. Del 4 de juliol al 13 de juliol (10 dies)	A1	138	237	33	266
	A2	108	133	16	192
	A3	72	113	15	131
	A4	120	310	43	293
3. Del 17 de juliol al 25 de juliol (9 dies)	A1	136	73	60	97
	A2	86	91	36	46
	A3	102	34	23	51
	A4	202	138	65	95
4. Del 27 de juliol al 5 d'agost (11 dies)	A1	27	127	23	134
	A2	21	81	19	44
	A3	42	76	27	60
	A4	31	213	29	114
5. Del 9 d'agost al 14 d'agost (16 dies)	A1	54	137	36	122
	A2	25	53	43	65
	A3	31	72	28	54
	A4	30	189	37	167
6. Del 27 d'agost al 7 de setembre (12 dies)	A1	38	97	71	377
	A2	30	39	78	126
	A3	29	41	102	210
	A4	18	66	33	287

Anàlisi dels resultats

Anàlisi gràfica

Sempre convé començar analitzant les dades gràficament. Les tècniques gràfiques són senzilles, intuïtives i també molt útils per identificar possibles valors anòmals i per treure unes primeres conclusions. Moltes vegades aquestes conclusions són les que després es veuen confirmades aplicant tècniques més sofisticades.

En aquest cas, per tenir una primera visió del comportament de les dades es va utilitzar un gràfic com el de la Figura 7, que permet comparar l'evolució del nombre mig de captures diàries al llarg dels 6 cicles per cadascun dels atraients.

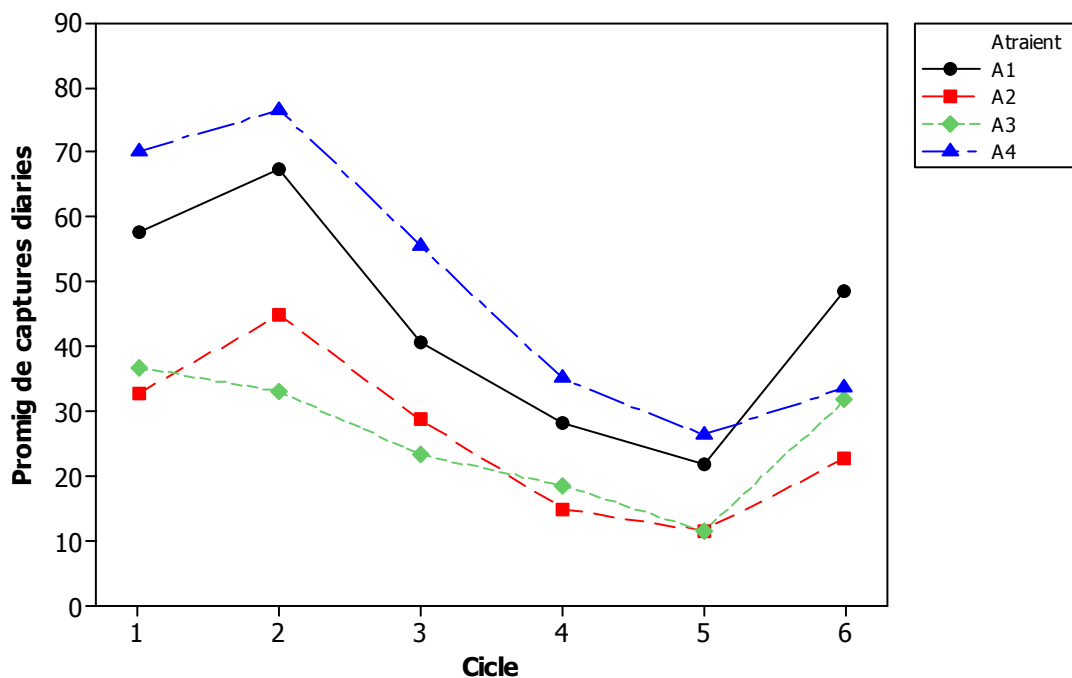


Figura 7: Gràfic de l'evolució del nombre mitjà de captures diàries femella per cicle i atraient

Es pot veure que el nombre promig de captures diàries té una lleugera creixuda semblant per tots els atraients entre el primer i el segon cicle. A continuació va disminuint fins que entre el cinquè i el sisè cicle s'observa una remuntada que no arriba a col·locar el nombre de captures al mateix nivell que en els primers cicles. El comportament decreixent per tots els atraients en la majoria de cicles era d'esperar, ja que els atraients col·locats dins de les trampes perden eficàcia conforme van passant els dies. De totes maneres, l'efecte de l'atraient està confós amb la població de mosques (no podem saber si el nombre de mosques capturades disminueix perquè

l'atraient perd eficàcia, o perquè hi ha menys mosques). Els augments entre el primer i segon cicle i el cinquè i el sisè cicle poden ser deguts a un increment del nombre de mosques durant aquest període.

El fet que l'evolució pels quatre atraients sigui pràcticament idèntica indica que la persistència podria ser semblant per a tots ells. No existeix, a simple vista, interacció entre atraient i cicle; és a dir, la diferència entre els efectes dels atraients sobre el nombre de captures diàries sembla que no depèn del cicle.

Es pot observar també que l'atraient que sistemàticament captura més mosques és l'A4 seguit de l'A1, A3 i A2. Aquests dos últims es comporten de manera molt similar. En l'últim cicle es pot veure que l'atraient A4, que havia estat el millor, redueix el nombre de captures.

En la segona part de l'anàlisi gràfica es va voler determinar si l'evolució del nombre de captures diàries era diferent en cadascuna de les finques estudiades. A la vista dels gràfics de la Figura 8 és raonable pensar que el tipus de finca influeix en les captures. Existeixen dos comportaments diferenciats: el primer correspon a les finques Barranc i Vergel i el segon a les finques Fornòs i Balada. En el primer cas es pot observar que el nombre mig de captures diàries tendeix a créixer entre els cicles 1 i 3 (en alguns tipus d'atraient hi ha una breu baixada entre el cicle 1 i el 2) i a partir del tercer cicle es produeix una reducció bastant dràstica de les captures fins a deixar-la gairebé constant en els últims cicles. Per una altra banda, trobem que durant els primers cicles a les finques Fornòs i Balada hi ha un comportament similar al de les finques Barranc i Vergel, però entre els cicles cinquè i sisè s'observa una gran crescuda de captures mitjanes diàries. La finca amb major nombre mitjà de captures al dia és Balada i les finques amb menor nombre de captures diàries són, per ordre decreixent, Vergel, Barranc i Fornòs.

Cal remarcar que l'escala del nombre de captures és diferent en els quatre gràfics. Comparar gràfics amb escales diferents pot provocar errors d'interpretació (pot semblar que en les finques hi hagi un nombre similar de captures quan en realitat hi ha moltes més en la finca Balada que en la Fornòs) però en aquest cas s'ha fet així perquè si es mantenen les escales, en les finques on hi ha hagut menys captures pràcticament no s'apreciarrien les diferències entre atraients. Una conseqüència d'aquestes diferències entre finques és que el comportament general de les quatre finques juntes estarà molt influenciat per les que tenen un major nivell de captures.

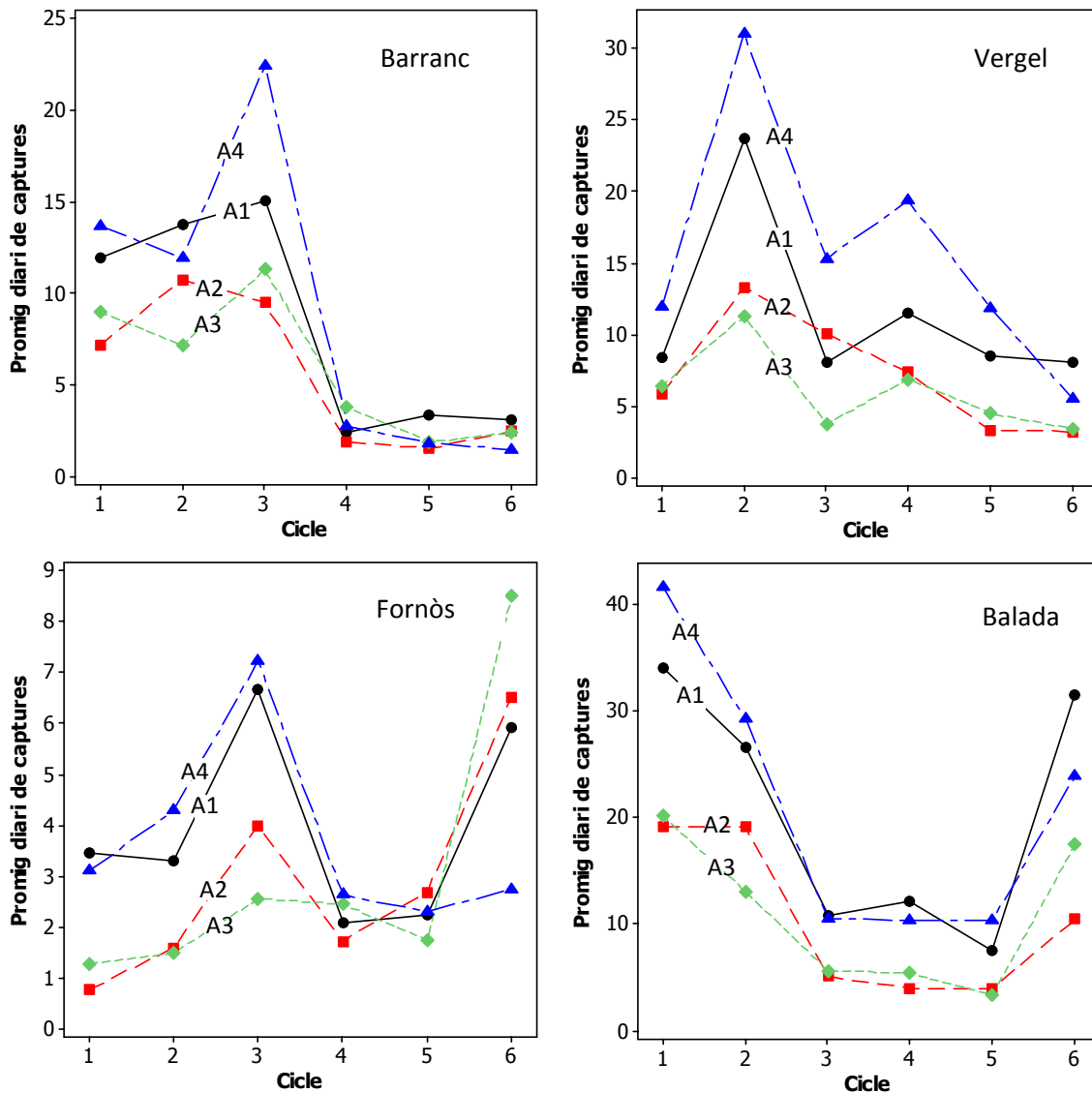


Figura 8: Evolució del nombre mitjà de captures diàries femella per cicle i atraient a cada finca

Respecte a l'eficàcia dels atraients, d'aquesta anàlisi gràfica es pot concloure que el que més captures diàries realitza per totes les finques és l'A4, tot i que, com ja s'ha comentat anteriorment, pateix un desgast notable entre el cinquè i sisè cicle que fa que en aquests últims cicles redueixi la seva efectivitat. El segon atraient pel que fa a nombre de captures és l'atraient A1.

Modelització de les dades. Proves d'hipòtesi

L'anàlisi quantitatiu de les dades es realitza a través de l'ajust de models estadístics tot intentant esbrinar si existeixen diferències significatives entre atraients (i si existeixen, quin és el millor) tot eliminant l'efecte de l'ubicació de la trampa (finca). Cada model s'ha ajustat sis vegades, un per cada cicle. A partir dels models ajustats i validats es pot

respondre a les preguntes sobre si els atraients són eficaços i si el comportament a les diferents finques és el mateix. Per a respondre aquestes preguntes es fan servir les proves d'hipòtesis.

L'objectiu fonamental d'aquest projecte era comparar diferents tècniques i models per l'anàlisi de les dades recollides, valorant l'adequació de cada un d'ells a les dades que es tenen, i comparant els resultats obtinguts. Entre d'altres, es van utilitzar:

- **Anàlisi de la variància amb un factor per la resposta (“percentatge de captures”):** Compara els quatre atraients amb les dades agrupades, sense distingir l'existència de diverses finques.
- **Anàlisi de la variància amb un factor per l'arcsinus del percentatge:** Model igual a l'anterior però fent un canvi de variable en la resposta per adaptar millor el seu comportament a les hipòtesis del model.
- **Anàlisi de la variància amb un factor pel logit del percentatge:** Igual al primer però ara amb una transformació de la resposta de tipus logarítmic.
- **Anàlisi de la variància amb dos factors i efectes fixes pel logaritme del nombre de captures:** En aquest model, a més de la influència de l'atraient, també es considera la influència de la finca. Que el model sigui d'efectes fixes vol dir que considerem que en la població només tenim els 4 tipus d'atraients que considerem i les quatre finques utilitzades.
- **Anàlisi de la variància amb dos factors i efectes mixtes pel logaritme del nombre de captures:** Similar a l'anterior però en aquest cas es considera que les finques són una mostra del conjunt de finques que poden existir a la zona estudiada. Per tant, és més realista.
- **Model log-lineal pel nombre de captures:** Quan s'apliquen tècniques d'anàlisi de la variància se suposa que les dades obtingudes provenen d'una distribució Normal. Tot i que en el nostre cas es podria considerar una aproximació raonable, en rigor la resposta són dades que provenen d'un compteig i la distribució que millor s'adapta a aquest tipus de dades és la Poisson. L'aplicació d'aquest model implica anàlisis més complicades que encara no estan implementades en els paquets de software estadístic més habituals.

Tots els models que tenen en compte l'existència de diferents finques posen de manifest que en tots els cicles es comporten de forma diferent amb una probabilitat d'error negligible.

Les diferències entre atraients són molt clares en els 3 primers cicles. En el quart i cinquè ja no són tan clares, i en el sisè cicle no hi ha diferències entre atraients.

Conclusions

Respecte al comportament de les finques, s'obté que el seu efecte és significatiu en els sis cicles, això vol dir que el nivell de captures és diferent segons la finca estudiada al llarg dels sis cicles.

Respecte als atraients, es conclou que en els primers cinc cicles el què captura més mosques és l'A4, seguit per l'atraient A1. En l'últim cicle, el sisè, no existeixen diferències significatives entre els quatre atraients i tots capturen mosques per igual, tot i que s'observa que en aquest cicle l'atraient A4 perd eficàcia (persistència) respecte els cicles anteriors.

A partir d'aquests resultats caldria determinar quin dels dos atraients és més rendible econòmicament, donat que l'atraient A1 fa menys captures però la seva efectivitat dura més temps, mentre que l'A4 sempre comença realitzant més captures però el seu període d'efectivitat és menor.

El que sí es pot assegurar és que els agricultors poden escollir sistemes més ecològics per produir fruita de qualitat, evitant, en la mesura del possible, els atacs de la mosca de la fruita.

Algunes consideracions

A partir de l'experiència obtinguda en aquest estudi, s'ha reflexionat sobre els punts forts i també sobre els aspectes millorables que s'haurien de tenir en compte en futurs experiments.

Com a aspecte positiu destaca la col·locació de les trampes en diferents finques per tal d'estudiar el comportament d'un factor que afecta a la resposta (la finca) i que és a priori conegut. També és un encert separar adequadament les trampes per tal d'evitar la interferència entre atraients i, sobretot, el fet de permutar les trampes evitant que

es pugui confondre el nombre de captures segons l'atraient amb el nombre de captures segons la posició dins de la finca.

Pel que fa als aspectes millorables es pot esmentar que tal i com s'ha dissenyat l'experiment és impossible conèixer la persistència d'un atraient ja que l'efecte de la intensitat de l'atraient al llarg del temps està confós amb la densitat de mosques de *ceratitis capitata* a l'entorn. O sigui, no es pot discernir si una major o menor captura al llarg del temps es deu a la persistència de l'atraient o al nombre de mosques presents als cultius. Una possible solució podria haver estat mesurar la persistència relativa a un atraient, per exemple el comercial, sobre els de l'estudi.

Un altre aspecte a millorar de l'estudi és el fet de prendre diferents longituds per als cicles recollits. Per tal de tenir dades més comparables entre cicles caldria ser estrictes en comptar els dies entre revisions i, per tant, en tenir cicles d'igual grandària. Per últim, una millora a tenir en compte per a futures recollides de dades seria col·locar una trampa sense cap atraient per a comparar també l'efecte de tenir atraient a la trampa respecte no tenir-ne.

(Projecte de la Llicenciatura d'Estadística, presentat el juny de 2002 amb el títol "Comparativa de mètodes per l'anàlisi dels assajos de captures de 'Ceratitis Capitata'")

Aquest projecte mostra perfectament l'esquema d'un estudi estadístic. Primer es planteja una pregunta (Quin atraient és millor?), per respondre-la es necessiten dades (no podem saber quin serà millor només analitzant la seva composició química, per exemple), aconseguir les dades no és fàcil, i s'ha de fer d'una manera molt curiosa per que reflecteixin correctament allò que es vol mesurar (cal fer correctament el què anomenen "disseny de l'experiment"). Finalment cal analitzar les dades obtingudes i treure conclusions.

En el projecte original s'utilitzen diferents tècniques d'anàlisi per comparar les conclusions que s'extreuen amb cadascuna d'elles. Moltes vegades l'anàlisi exploratòria de les dades ja dona pistes molt clares sobre quines seran les conclusions finals.



Lourdes Rodero va estudiar la Diplomatura i la Llicenciatura d'Estadística a la UPC (dubtava entre mates i estadística, i fins l'últim moment no es va decidir). La seva primera activitat professional va ser en una mútua de salut des d'on es va incorporar a la UPC com a professora d'estadística. Dóna classes a l'Escola d'Enginyeria Industrial de Barcelona i a la Facultat d'Estadística i Matemàtiques, i està acabant la seva tesi doctoral. És l'única persona que apareix en aquest llibre com autora d'un projecte i directora d'un altre.

Estudis de mercat

6

El disseny emocional: com crear productes que siguin atractius (i un exemple fent servir suc de fruites)

Projecte realitzat per: **Ana Gómez Muñoz**
Elisabeth Peralta Coll
Dirigit per: **Lluís Marco Almagro**

Diàriament convivim amb infinitat de productes de moltes marques diferents. Però tot i que siguin de marques diferents, tots s'assemblen molt. Pensem per exemple en els telèfons mòbils. La funcionalitat (les coses que poden fer) és similar: es pot parlar, enviar i rebre missatges, molts tenen càmera, poden reproduir música... Tampoc hi ha diferències grans en el preu. Per què aleshores alguns models són molt més populars que uns altres? Almenys una part de la resposta és que, simplement, ens agraden més (tot i que potser ens resulta difícil explicar per què ens agraden més).

El disseny emocional (o enginyeria kansei) intenta ajudar a dissenyar productes (i serveis) que siguin atractius i que transmetin determinades sensacions als seus usuaris. Aquest aspecte del disseny ha agafat molta importància i el paper que juga l'estadística és molt destacat.

Com que mai havíem fet un estudi d'enginyeria kansei, vam pensar en un producte senzill i accessible (els suc de fruites) per provar-ho. Les passes que es van seguir (i que són les típiques en aquests estudis) són les que es descriuen en aquest projecte.

Què és l'enginyeria kansei i per què és important

Kansei és una paraula japonesa difícil de traduir (com passa amb tantes paraules japoneses; ja se sap, cultures diferents, alfabetos diferents...). Però bàsicament es refereix a la impressió subjectiva que cada un de nosaltres s'emporta davant d'una determinada situació. Per exemple, visualitzem-nos caminant per una platja tropical, desèrtica, de sorra blanca, amb aigües cristal·lines, palmeres... Sentim el so d'unes onades suaus, notem una brisa lleugera... La sensació (el kansei) que possiblement molts de nosaltres tindriem és de tranquil·litat, de pau, de goig de viure.

Els productes també ens provoquen sensacions. Un reproductor de música ens sembla modern, un cotxe potent o una rentadora còmode de fer servir (fins i tot abans d'haver-la utilitzat mai). L'enginyeria kansei intenta relacionar les característiques tècniques dels productes amb les sensacions que provoquen. A aquesta disciplina també se l'anomena de vegades disseny emocional, enginyeria emocional, enginyeria afectiva i algun altre nom. Malauradament, tenir tants noms pel mateix és una dificultat per difondre el seu ús.

I per què és important dissenyar productes atractius? En un món amb cada cop menys diferències de funcionalitat i preu entre els productes, el que pot marcar la diferència entre els que es vénen i els que no és la impressió que produeixen en els compradors. Però no només es tracta d'una estratègia per vendre més: els productes atractius també funcionen millor! Existeixen estudis que mostren que es cometen menys errors i els usuaris van més ràpid fent servir productes que valoren com a macos, com a atractius.

Així doncs, si dissenyar productes atractius és tan important, com podem fer-ho? L'enginyeria kansei pretén ajudar en aquesta tasca. Moltes empreses han fet servir ja aquesta tècnica per dissenyar cotxes, electrodomèstics, envasos d'aliments... El producte amb què es va aplicar aquesta metodologia van ser sucs de fruites presentats en gots. Era un producte fàcil d'aconseguir, i familiar per molta gent. Simon Schütte, un professor de la universitat de Linköpings (Suècia), va fer un curs sobre enginyeria kansei a la nostra universitat, i va proposar un model molt clar per fer aquests estudis, que és el que es va utilitzar.

El model per fer estudis d'enginyeria kansei

La primera fase de la metodologia descriu quin serà el producte a desenvolupar, el grup al qual es dirigirà i la situació actual del mercat (en aquest cas són els sucs de fruites presentats en gots).

La segona etapa és la definició de l'anomenat espai semàntic. Es tracta de fer una llista de paraules (anomenades paraules kansei) que intenten descriure totes les sensacions que pot provocar el producte en els usuaris. També es defineix l'espai de propietats; és a dir, les característiques tècniques del producte que tenen valors que es poden variar.

Posteriorment, cal recollir dades sobre les sensacions que provoquen cada un dels prototipus de producte preguntant a un grup de persones. En l'etapa de síntesi es relacionen les paraules kansei amb les propietats (per exemple, si s'està fent un estudi sobre rellotges es podria arribar a la conclusió que un rellotge amb esfera rodona es percep com a més modern que un amb esfera quadrada).

Finalment, es validen les conclusions extretes. Tot aquest procés, que potser ara no diu massa, quedarà molt més clar – esperem – amb l'exemple dels suc.

La definició de l'espai semàntic en el cas dels suc

L'espai semàntic es descriu mitjançant les anomenades paraules Kansei. Les paraules Kansei són paraules (sovint adjectius) que descriuen les sensacions associades al producte, en aquest cas els suc de fruites. Per fer el recull de paraules cal recolzar-se en material que tingui relació amb el producte a desenvolupar. Ens podem ajudar de revistes, manuals, literatura especialitzada, pàgines web i altres possibles estudis kansei previs. A més de material escrit podem parlar amb persones expertes en la matèria o consumidors que hagin fet servir el producte i estiguin disposats a compartir la seva experiència.

En el nostre cas, per a la cerca de les paraules kansei es va fer ús de pàgines web i de llibres especialitzats en suc natural, batuts i infusions. A partir d'aquestes fonts es van seleccionar un total de 136 adjectius referents a sensacions o emocions capaces de representar els efectes que poden provocar els suc de fruites en observar-los. Aquests 136 adjectius són les paraules amb un quadre de color groc de la Figura 2.

És clar, 136 paraules són moltes (tot i que en alguns estudis kansei aquest primer pas suposa llistes de més de 300 o 400 paraules!). Com que després un grup de persones haurà de fer una valoració de totes les paraules kansei per cada producte que se li presenta, no es pot fer la recollida de dades amb tantes paraules, perquè seria molt pesat, i els participants perdrien interès i es cansarien (probablement, la majoria ja no acceptarien començar amb l'estudi si se'ls digués que hauran de gastar hores i hores valorant productes).

Per això, és necessari fer una reducció de l'espai semàntic per resumir totes les paraules en unes poques, agrupades segons el seu significat. Això s'acostuma a fer amb un diagrama d'afinitat. Cada una de les paraules kansei inicials es va escriure en un post-it, i posteriorment es van anar formant grups de paraules de significat semblant. Per cada grup de paraules es va seleccionar una d'elles que representava el grup, o se'n va crear una de nova que tingués el significat global d'aquestes.

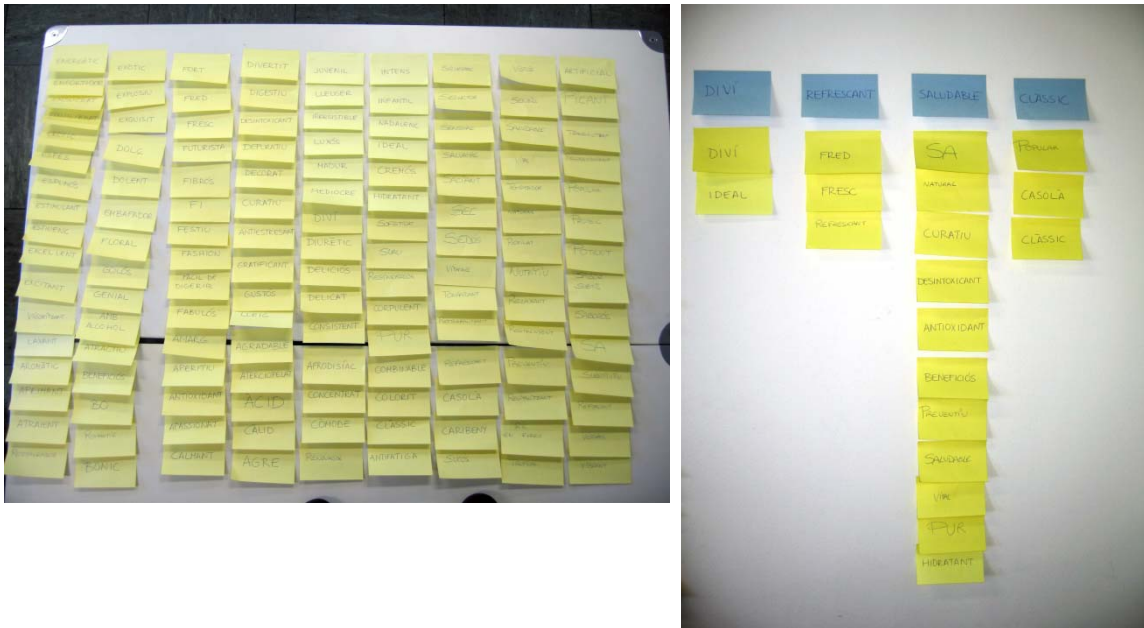


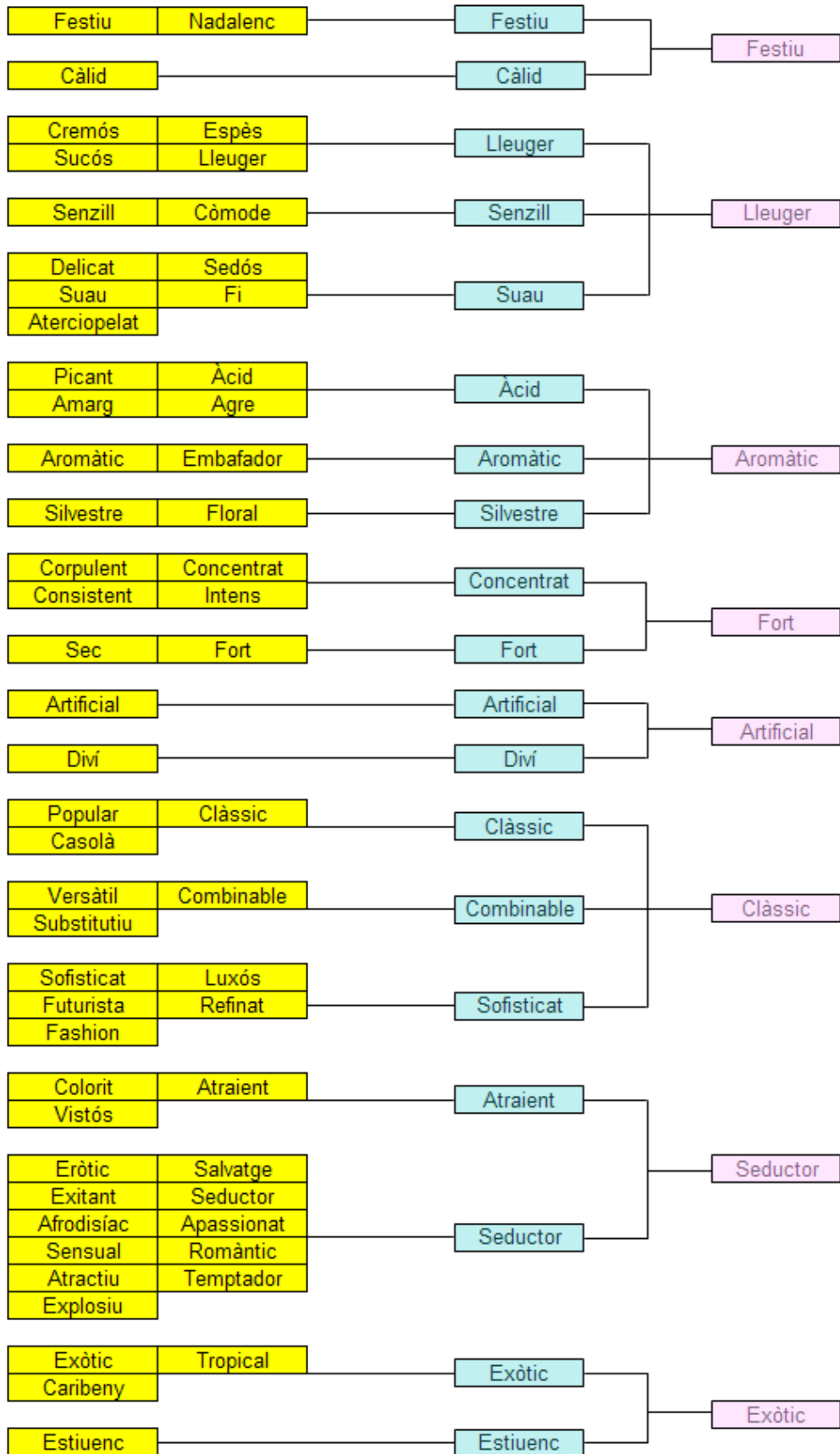
Figura 1: Post-it amb totes les paraules (esquerra). Exemple d'agrupació de les paraules

Com a resultat d'aquesta agrupació es va aconseguir resumir les 136 paraules kansei en 33. En un segon pas, i amb un altre diagrama d'afinitat, es van resumir les 33 paraules en 14 paraules (Taula 1).

Taula 1: Llista final de paraules Kansei.

Festiu	Artificial	Energètic	Saludable
Lleuger	Clàssic	Refrescant	Gustós
Aromàtic	Seductor	Exòtic	Relaxant
	Fort	Juvenil	

El diagrama d'afinitat final es pot veure a la Figura 2: *Diagrama d'afinitat de les paraules Kansei*. Les paraules de les dues primeres columnes corresponen a les 136 paraules inicials ja agrupades. Les paraules de les tercera columna són les 33 paraules que resumeixen les primeres i les 14 de l'última columna són les paraules Kansei finals.



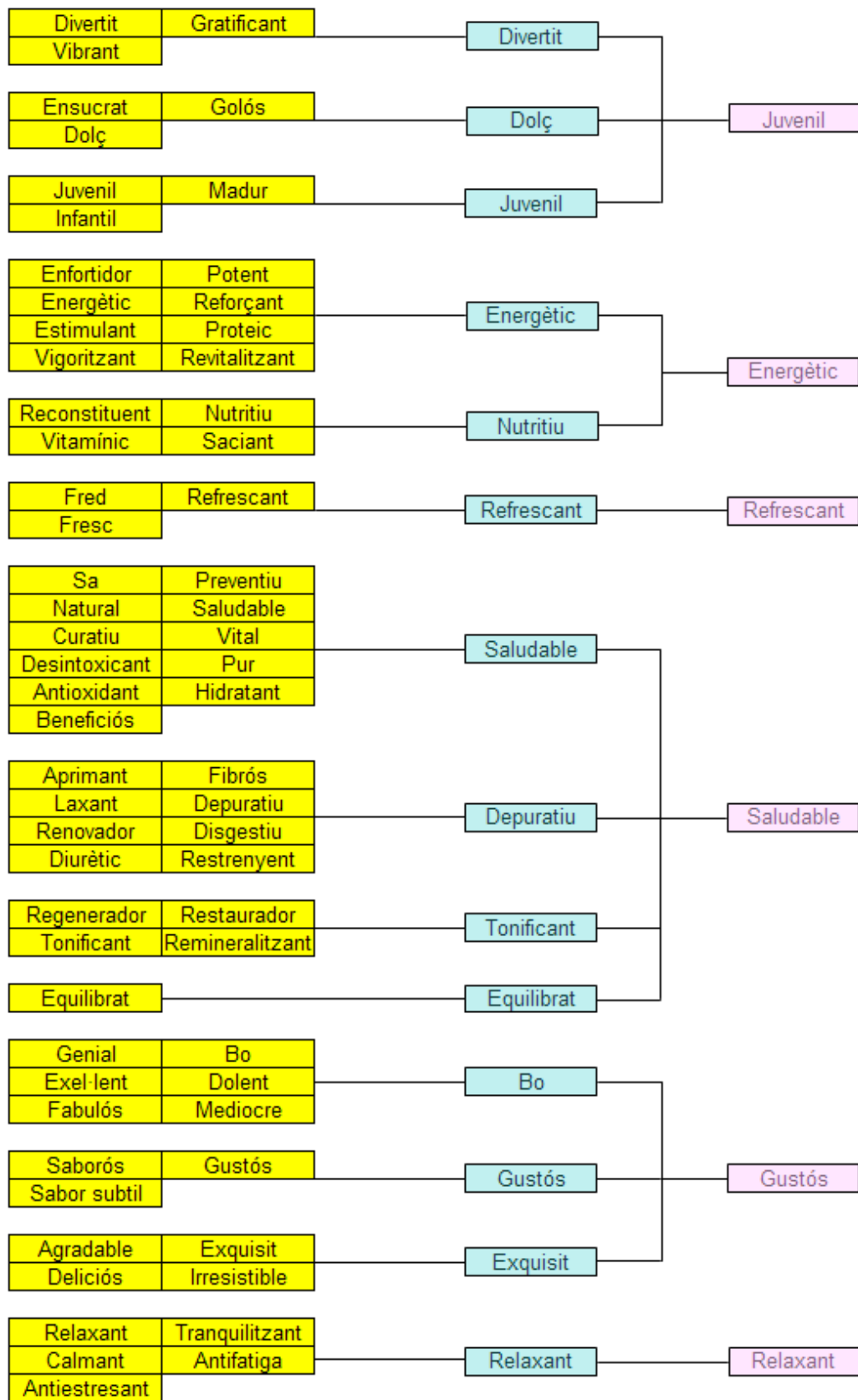


Figura 2: Diagrama d'afinitat de les paraules Kansei

El diagrama d'afinitat per reduir l'espai semàntic es pot complementar amb una anàlisi clúster. L'anàlisi clúster és una tècnica estadística que permet fer grups de paraules similars. És a dir, quan uns suc reben sempre puntuacions altes per unes paraules, i altres suc reben sempre puntuacions baixes per aquestes mateixes paraules, això significa que aquest grup de paraules es percep com el mateix i, per tant, es pot resumir en una de sola.

El procediment seguit en aquest cas va ser agrupar de nou les 33 paraules kansei obtingudes del primer diagrama d'afinitat i verificar així si la segona agrupació era realment la més adequada. Aquesta anàlisi es va realitzar a partir de les valoracions de 6 persones sobre quatre suc completament diferents (Figura 3): tots de diferent color, amb diferents decoracions, uns amb gel i altres sense, en recipients diferents, etc. Les imatges es van extreure d'un dels llibres usats per cercar paraules kansei.



Figura 3: Suc utilitzats en l'enquesta per l'anàlisi clúster

Les sis persones que van omplir els formularis van valorar les 33 paraules (ordenades aleatòriament) per cada un dels quatre suc. Per exemple, davant la paraula "exòtic", cada persona havia de posar una nota a cada un dels quatre suc, de l'1 al 7 (un 1 vol dir que el suc és la cosa menys exòtica del món, mentre que un 7 denota el suc més exòtic que un es pot trobar).

Algunes paraules (concretament 3) van canviar de grup. Un grup format per dues paraules va desaparèixer, ja que es va mostrar que aquestes sensacions eren similars a altres paraules.

Tot i que finalment van quedar 13 grups de paraules, vam considerar que algunes de les sensacions no eren d'interès, i que encara eren massa paraules. Per això, vam decidir quedar-nos únicament amb 7 paraules kansei. Un cop acabat tot l'estudi ens vam adonar que aquesta decisió potser no havia estat massa bona, i que la selecció d'aquestes 7 paraules no havia estat la millor, però se'ns ha de perdonar: l'estudi el fèiem per aprendre...

Les 7 paraules finals eren artificial, seductor, refrescant, exòtic, saludable, gustós i relaxant. Com que totes les paraules excepte artificial tenien un sentit positiu, vam decidir canviar aquesta paraula pel seu antònim: natural.

Les paraules kansei definitives usades en l'estudi són les que es mostren a la Taula 2.

Taula 2: Paraules Kansei definitives

Natural	Seductor	Refrescant
Exòtic	Saludable	Gustós
	Relaxant	

La definició de l'espai de propietats en el cas dels suc

L'espai de propietats determina els factors del producte que se sotmetran a estudi. A l'hora de definir l'espai de propietats ens podem trobar amb dues situacions diferents: que l'estudi es basi en prototipus de productes que s'han de construir (de manera que es disposa de molta més llibertat per escollir els factors), o bé que es facin servir prototipus disponibles ja creats.

Pels suc es va elaborar una llista amb factors que es podien controlar i modificar en les imatges dels suc, inspirant-se en les mateixes fonts usades per determinar l'espai semàntic. Finalment es va decidir treballar amb les següents propietats:

Taula 3: Propietats escollides i les seves alternatives

PROPIETATS	ALTERNATIVES
Color	Groc Taronja
Envàs	Got Copa
Decoració	Sí No
Canya	Sí No

Si volguéssim tenir totes les combinacions possibles d'aquests factors sortirien 32 imatges diferents. Però no és necessari fer-les totes per descobrir com afecta cada un d'aquests factors a les paraules kansei seleccionades. Amb només 16 combinacions (les que es mostren a la Taula 4) és suficient (això és el que correspon a un disseny factorial fraccional 2^{5-1}). Les fotos de tots els suc creats es mostren a la Figura 4.

Taula 4: Característiques de cada un dels suc

	CANYA	DECORACIÓ	GEL	RECIPIENT	COLOR
Suc 1	No	No	No	Got	Taronja
Suc 2	Sí	No	No	Got	Groc
Suc 3	No	Sí	No	Got	Groc
Suc 4	Sí	Sí	No	Got	Taronja
Suc 5	No	No	Sí	Got	Groc
Suc 6	Sí	No	Sí	Got	Taronja
Suc 7	No	Sí	Sí	Got	Taronja
Suc 8	Sí	Sí	Sí	Got	Groc
Suc 9	No	No	No	Copa	Groc
Suc 10	Sí	No	No	Copa	Taronja
Suc 11	No	Sí	No	Copa	Taronja
Suc 12	Sí	Sí	No	Copa	Groc
Suc 13	No	No	Sí	Copa	Taronja
Suc 14	Sí	No	Sí	Copa	Groc
Suc 15	No	Sí	Sí	Copa	Groc
Suc 16	Sí	Sí	Sí	Copa	Taronja



Figura 4: Imatges dels sucs

Recollida de dades

La recollida de dades va tenir lloc a la Facultat de Matemàtiques i Estadística el dia 13 d'abril de 2007. Per a la recollida de dades es va comptar amb 24 persones (familiars i amics) que van participar voluntàriament (i realment posant molt interès, com diuen ells "van demostrar que ens aprecien..."). Les 24 persones es van assignar a 4 grups de manera aleatòria. A cada un d'aquests grups se'ls va asseure en una taula, amb un ordinador portàtil que mostraria les imatges dels suc.

Inicialment, es va entregar a cada un dels participants una llista amb les definicions de cada una de les paraules kansei, donat que era molt important que tothom entengués el mateix en llegir les paraules.

Quan ja tothom estava preparat, es va començar la recollida de dades. D'una en una, les imatges dels 16 suc es van anar mostrant a cada portàtil. Per cada suc, cada participant puntuava les 7 paraules kansei en un formulari, fent servir una escala de 1 a 7 (Figura 5). Les imatges estaven en un ordre diferent per cada grup; així es va poder comprovar després que les valoracions no es veien afectades per l'ordre en què apareixen les imatges.

Van repetir una segona vegada tot el procés de valoracions, per tenir així dades per poder comparar entre la primera i la segona valoració de cada persona. Com que les valoracions es feien el mateix dia, es van separar per un aperitiu, de manera que els participants es distraguessin una estona i no es veiessin influenciats per les imatges anteriors (i també per obsequiar-los amb alguna cosa de menjar, això sempre agrada). Per a la segona ronda de valoracions es va tornar a variar l'ordre en què apareixien les imatges i, de nou, per cada una de les combinacions de suc van valorar les set paraules kansei.

Relaxant						
1	2	3	4	5	6	7
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Seductor						
1	2	3	4	5	6	7
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Natural						
1	2	3	4	5	6	7
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Refrescant						
1	2	3	4	5	6	7
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Saludable						
1	2	3	4	5	6	7
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Exòtic						
1	2	3	4	5	6	7
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Gustós						
1	2	3	4	5	6	7
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>						

Figura 5: Formulari utilitzat en l'avaluació dels suc

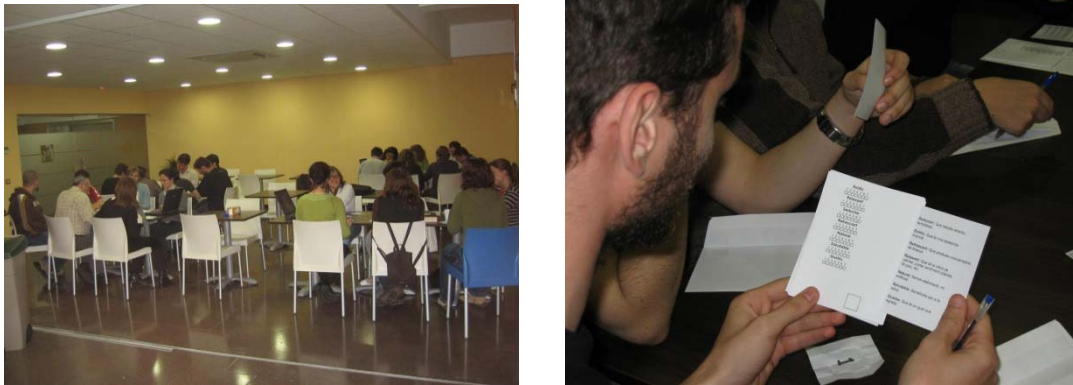


Figura 6: Dos moments de la reunió en la qual es van recollir les dades

En definitiva, cada persona va omplir 16 formularis (un per cada suc) cada ronda. Com que es van fer dues rondes i es tenien 24 participants, en total, es van complimentar 768 formularis. A la Figura 7 trobem un exemple de les puntuacions donades. Correspon a la primera i segona ronda de les valoracions per la paraula “exòtic”. Els colors de cada cel·la varien en una escala en la qual les puntuacions més altes tenen color verd i les més baixes color vermell.

	Imma	Lydia	Mònica	David	Erlí	Eva	Belén	Antonic	Héctor	Helena	Vicenç	Jose	Xavi	Raquel	Merce	Guillem	Marta	Pere	Núria	Esther	Sandra	Enrique	Sergi	Manolo
1	1	3	3	1	2	3	3	4	1	4	2	4	2	3	4	1	4	2	3	1	2	5	7	7
2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	6	3	1	2	1	4	2	4	2	3	2	1	2	2	1
3	1	1	2	5	1	2	6	1	2	6	2	6	2	5	4	2	3	3	5	2	4	5	4	7
4	1	1	4	5	7	5	7	7	5	4	4	5	5	3	5	4	3	4	7	3	6	6	7	7
5	1	1	3	1	1	1	4	2	1	6	3	1	4	1	1	4	4	3	4	3	3	4	2	1
6	1	1	2	1	3	1	6	6	5	4	5	5	5	1	5	2	5	2	1	4	5	5	5	7
7	3	1	5	7	2	6	7	5	6	5	5	6	3	7	6	2	4	5	6	6	7	4	7	7
8	2	1	4	5	2	5	4	4	3	4	5	6	5	7	3	4	4	6	7	7	7	6	7	7
9	1	1	2	1	1	1	2	1	1	6	2	1	3	1	2	2	3	2	5	3	1	4	1	1
10	2	1	5	1	4	4	5	6	3	3	4	5	6	3	6	3	5	3	5	3	2	6	5	7
11	3	1	5	6	7	7	6	3	4	6	6	6	7	6	3	3	3	3	6	6	7	6	7	7
12	2	1	4	5	4	5	2	1	2	5	3	6	5	7	5	5	3	5	6	6	4	6	6	7
13	1	1	3	1	2	4	6	5	6	3	5	5	7	5	3	4	3	3	4	3	5	3	5	6
14	2	1	3	1	1	2	1	1	1	5	4	2	4	1	3	3	3	4	3	3	3	4	4	1
15	1	1	5	7	1	6	7	2	7	4	5	6	3	7	5	7	5	5	7	3	6	6	6	7
16	2	1	5	5	6	7	7	4	5	5	5	6	5	7	7	5	4	4	5	6	7	7	7	7

	Imma	Lydia	Mònica	David	Erlí	Eva	Belén	Antonic	Héctor	Helena	Vicenç	Jose	Xavi	Raquel	Merce	Guillem	Marta	Pere	Núria	Esther	Sandra	Enrique	Sergi	Manolo
1	1	1	2	1	1	1	2	5	3	2	3	3	6	1	4	1	4	2	2	4	1	4	7	1
2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	4	2	4	3	2	3	3	3	3	2	2	1	3	1	1
3	1	1	3	2	2	2	4	4	1	4	5	6	2	4	5	5	4	3	4	2	5	5	3	4
4	1	1	3	5	5	4	7	5	4	4	6	6	6	4	7	2	4	3	3	6	7	3	7	4
5	1	1	2	1	1	1	4	2	1	4	4	2	3	1	2	2	3	3	6	2	2	5	4	5
6	1	1	2	3	5	3	3	5	3	3	5	2	4	2	4	1	3	2	3	2	4	3	7	1
7	1	1	2	3	6	4	5	5	4	3	5	6	6	5	7	5	4	3	7	5	6	6	7	7
8	1	1	3	5	6	5	2	5	2	5	6	7	3	5	5	7	4	5	5	7	6	6	5	6
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	2	1	1	4	6	4	3	1	2	1	2	2	1
10	1	1	2	1	1	2	4	4	5	4	3	6	3	5	2	3	3	2	4	3	3	6	1	1
11	1	1	3	3	2	5	6	5	4	4	5	6	5	7	6	4	3	3	5	5	6	6	7	4
12	1	1	2	3	5	4	1	6	1	5	6	5	3	7	4	7	4	4	2	4	6	6	5	7
13	1	1	2	1	1	3	4	5	4	4	5	2	4	4	5	5	3	2	2	3	5	5	7	4
14	1	1	2	1	1	1	2	3	1	4	4	2	2	3	4	6	4	3	4	2	5	5	4	4
15	1	1	2	2	7	3	1	2	1	4	5	5	3	7	4	5	4	5	6	7	6	6	7	7
16	1	1	4	3	7	6	7	5	5	4	7	7	7	7	6	5	4	4	6	7	7	7	7	7

Figura 7: Puntuacions per la paraula “exòtic”

Mirant les puntuacions només per la paraula exòtic ja es posen de manifest alguns fets: per una banda, hi ha persones que tenen tendència a donar puntuacions baixes i altres puntuacions altes; per altra banda, hi ha persones amb molt poca variabilitat entre succs (la Imma i la Lydia, per exemple, pràcticament sempre puntuen amb un 1 tots els succs), i persones amb molta més variabilitat (que tenen un rang de puntuacions que va de 1 a 7). Tornarem a aquests dos fets en l’apartat de conclusions.

Síntesi

El pas de la síntesi és el moment on es relacionen l'espai semàntic i l'espai de propietats. Es tracta de trobar quines característiques dels suc són importants per cada una de les paraules kansei.

Hi ha moltes tècniques que es poden fer servir en la síntesi. Una de les més populars a la literatura japonesa és l'anomenada QT1 (*quantification theory type I*), que bàsicament és una regressió lineal. Com que la matriu de dades dels suc correspon a un disseny factorial fraccional, es poden fer servir les tècniques habituals per trobar els efectes en un disseny factorial per veure quines propietats són significatives en el nostre cas. Cap propietat ha aparegut com a significativa per les paraules saludable, natural i relaxant. En canvi, és molt clar que els suc que tenen gel es valoren com a més refrescants que els que no en tenen. També descobrim que els suc de color taronja i amb decoració es valoren com a més exòtics i seductors. Els suc de color taronja també es valoren com més gustosos.

A la Figura 8 podem veure els suc representats en uns eixos on les abscisses són les mitjanes de les puntuacions dels 24 participants, i les ordenades la desviació tipus de totes les puntuacions, per la paraula refrescant. Veiem clarament la distinció entre els suc que no porten gel (menys refrescants, a la part esquerra), i els que sí porten gel (més refrescants, a la part dreta).

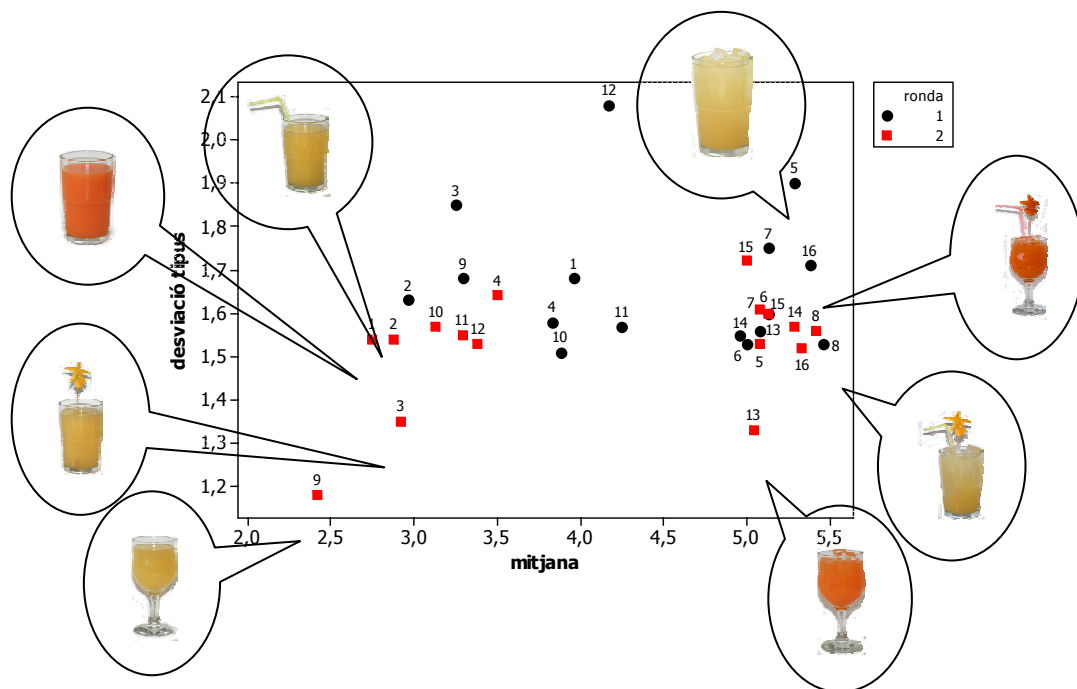


Figura 8: Desviació tipus versus mitjana de les puntuacions per "refrescant"

La mateixa gràfica es pot fer per altres paraules. A la Figura 9 veiem com, per la paraula seductor, els suc groc i sense decoració apareixen a l'esquerra (poc seductors) i els taronges i amb decoració a la dreta (molt seductors). També observem aquí com tothom està molt d'acord en els suc que són poc seductors (desviació tipus baixa), però hi ha molta més diversitat d'opinions sobre els suc que són molt seductors (desviació tipus alta).

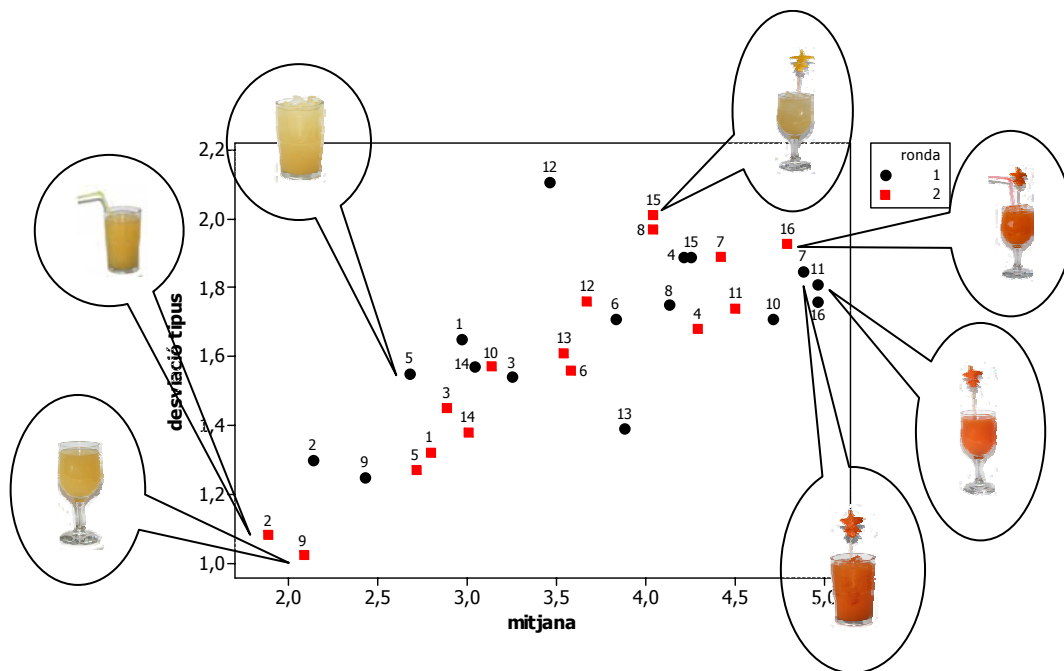


Figura 9: Desviació tipus versus mitjana de les puntuacions per “seductor”

Estudi de la similitud entre paraules Kansei

Una manera visual i fàcil d'analitzar les dades és mitjançant els gràfics radar. Aquestes representacions mostren, per cada una de les paraules kansei, la mitjana de les valoracions de cada suc. Els nombres de l'1 al 16 corresponen a cada un dels suc segons la relació de la Taula 4. Si aquests gràfics presenten una forma arrodonida (com passa amb les paraules relaxant, saludable i natural), això vol dir que tots els suc han rebut puntuacions similars per aquesta paraula i que, per tant, no hi ha cap propietat que tingui un efecte significatiu.

Quan per una paraula veiem “entrades i sortides” en el gràfic radar, això vol dir que hi ha diferències entre els suc, i per tant trobarem propietats amb un efecte significatiu sobre la paraula. A més, quan dues paraules tenen un perfil en el gràfic radar semblant (com passa amb les paraules exòtic i seductor), això vol dir que les dues sensacions es perceben com a similars.

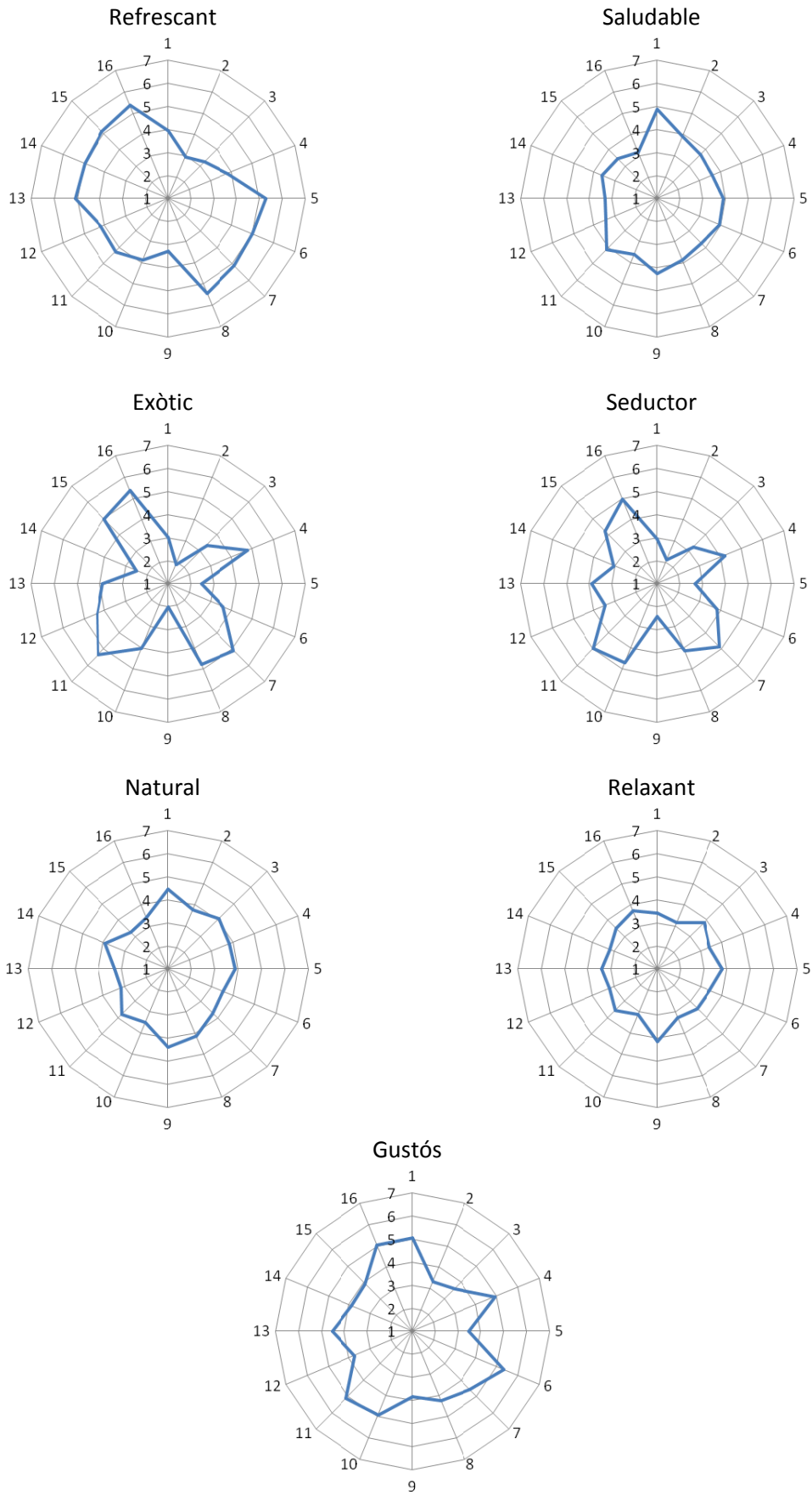


Figura 10: Gràfics radar per cada una de les paraules kansei

Hem vist que les propietats significatives per exòtic i seductor eren les mateixes, el perfil semblant en els gràfics radar confirma aquest fet. Els gràfics radar de natural i saludable també tenen certes similituds en la seva forma, encara que no tan marcades com les que tenen seductor i exòtic.

Es pot fer també una anàlisi de components principals per veure quines paraules es perceben com a semblants. L'anàlisi de components principals és una tècnica descriptiva en la qual es creen unes noves variables (anomenades components principals), que són combinacions lineals de les variables originals. La particularitat és que la primera component principal captura una gran part de la variabilitat de les dades originals, la segona una mica menys, etc. Amb una mica de sort, només amb les dues o tres primeres components principals podem capturar al voltant del 70% o 80% de la variabilitat original (això, és clar, depèn en cada cas de les dades).

Però la gràcia de tot plegat és que, aleshores, es poden representar les paraules kansei en un diagrama bivariant de les dues primeres components (Figura 11). Fixem-nos com els sucus que es perceben com a seductors també es perceben com a exòtics (i per això les dues paraules estan molt properes). El mateix passa amb les paraules saludable i natural. És bastant raonable, veritat? És per això que, en escollir les paraules per l'espai semàntic, potser hauríem pogut triar només una de cada parella (per exemple, només preguntar per seductor, i no per exòtic), i en canvi haver inclòs algunes paraules que es van descartar.

Relaxant, en canvi, és bastant perpendicular a les altres, per tant, no s'assembla a cap altra paraula kansei.

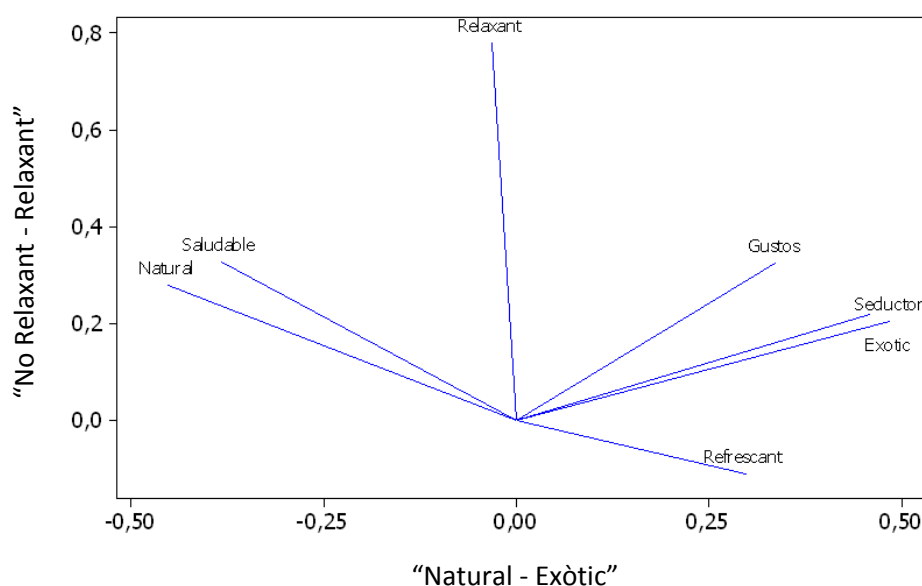


Figura 11: Similitud de les paraules kansei

Localització dels suc a l'espai semàntic

Es poden fer servir els mateixos eixos que abans per caracteritzar cada una de les 16 combinacions estudiades. A la part superior esquerra estan els considerats com a naturals. A la part dreta s'observen els suc seductors i exòtics (bàsicament, suc amb decoració).

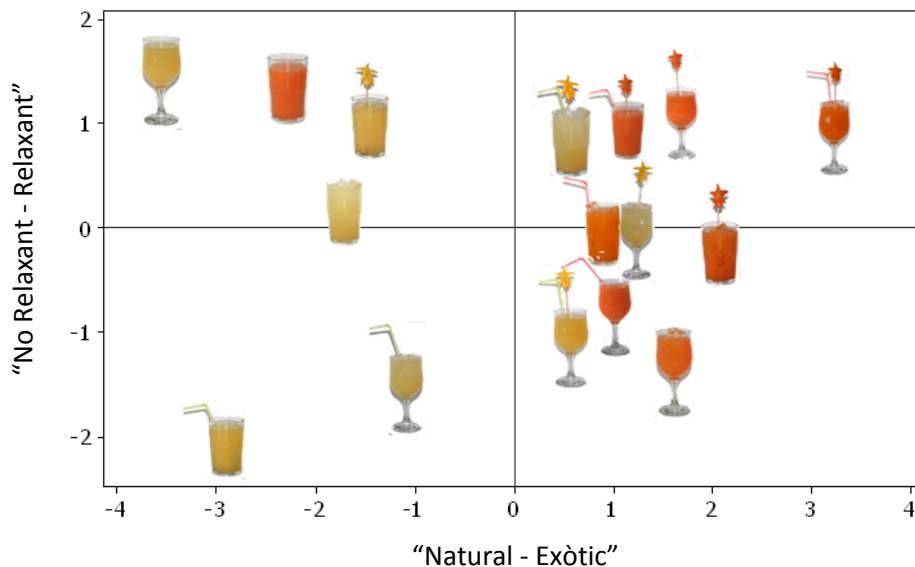


Figura 12: Localització dels suc a l'espai semàntic

Conclusions

El projecte realitzat va servir, sobretot, per entendre com fer un estudi d'enginyeria kansei. Com passa molt sovint, quan més s'aprèn és quan has de fer un estudi de principi a final. Recollir les dades, per exemple, té una dificultat en qualsevol estudi estadístic que sovint no es veu reflectida en els informes que després s'elaboren analitzant ja els resultats: pensar en com s'organitza, destinar hores i hores a elaborar els formularis, no equivocar-se en el moment de la recollida, passar després totes les dades a l'ordinador...

Les dades recollides encara poden donar més de si. Recordem que vam fer dues rondes, és a dir, per cada suc i cada paraula teníem les puntuacions que cada persona va donar en dues ocasions. Comparant les dues rondes es veu com algunes persones són molt consistents en les puntuacions que donen, però altres no ho són gens. Potser seria interessant fiar-se'n més de la gent més coherent... Cal pensar-hi.

I, tal i com es pot veure a la Figura 8, la variabilitat entre les persones és molt gran (cosa bastant previsible, per altra banda). Treballar sempre amb la mitjana de les puntuacions de totes les persones és molt empobridor, també caldria pensar maneres de tenir en compte aquesta variabilitat.

Bé, en definitiva, cada cop més els productes que es dissenyen i que després fem servir són productes "emocionals". Els estudis d'enginyeria kansei, on es fan servir multitud de tècniques estadístiques, aniran prenent importància en el futur proper. Però encara queda tant per fer! I com es podria fer tot això no per un producte manufacturat, sinó per un servei? Per exemple, com han de ser les sales d'espera dels hospitals per que transmetin sensació de tranquil·litat, de professionalitat...? L'enginyeria kansei és, realment, una porta d'entrada apassionant a un munt de tècniques estadístiques ben diverses.

(Projecte de la Diplomatura d'Estadística presentat el setembre de 2007 amb el títol "Aplicació de la metodologia Kansei en la valoració de sucs de fruita")

Tema nou (i molt interessant) però sistemàtica de cerca de coneixement ja coneguda: Es fan preguntes (quines característiques de la presentació d'un suc transmeten "emocions" i de quins tipus?), planifiquen la recollida de les dades (que, naturalment, han de ser rellevants per respondre a les preguntes), les recullen (amb compte!), les analitzen i treuen conclusions. Això és el paradigma d'un estudi estadístic, perfectament aplicat en aquest projecte, a un camp novedós però, com elles mateixes diuen, amb molt futur.



Ana

Elisabeth

Ana Gómez i Elisabeth Peralta han fet juntes el projecte final de carrera de la Diplomatura d'Estadística a la FME i totes dues continuen estudiant però seguint camins diferents. L'Ana ha començat Administració i Direcció d'Empreses (ADE) a la UB i treballa com auxiliar de direcció al DIR (cadena de gimnasos). A l'Elisabeth li agrada la informàtica i ara està estudiant Enginyeria Tècnica Informàtica a la UPC i treballa com a becària al departament de Teoria de la Senyal i Comunicacions.

Totes dues estan d'acord en què uns bons coneixements d'estadística són molt útils tant en el món de l'empresa com en el de la informàtica.

7

Formació de preus en el mercat elèctric: millors estratègies per compradors i venedors

Projecte realitzat per: **Elisenda Vila Jofre**
Dirigit per: **F. Javier Heredia Cervera i Cristina Corchero García**

El sector de l'energia elèctrica a Espanya ha afrontat diverses reformes integrals durant els últims 10 anys. La darrera d'elles ha estat al juliol de 2006 amb la posada en marxa del Mercat Ibèric de l'Electricitat. Dins d'aquest nou marc les empreses productores d'energia es plantegen un problema bàsic: quanta energia han de produir per poder tenir màxim benefici?

Per poder donar una resposta a aquesta pregunta s'han fet servir tècniques pròpies del camp de la investigació operativa. La investigació operativa, que també es coneix amb el nom de "Management Science", és la disciplina consistent en aplicar mètodes analítics avançats per ajudar a prendre les decisions més encertades. Usant tècniques com la modelització matemàtica, la investigació operativa és capaç de proporcionar als executius la informació per a prendre decisions i construir sistemes de producció que consideren diferents possibilitats.

A continuació s'explica com s'ha elaborat una estratègia que ajuda a prendre decisions en el mercat de l'energia elèctrica emprant aquestes tècniques.

El mercat ibèric de l'electricitat

El mercat ibèric de l'electricitat (MIBEL) inicia el seu procés de creació l'any 2001 amb la firma d'un acord entre les administracions espanyola i portuguesa per assolir la convergència dels sistemes elèctrics dels dos països. No és, però, fins el juliol de 2006 que el projecte es fa realitat i esdevé plenament operatiu.

El MIBEL està format per dues entitats principals: l'OMEL i l'OMIP. L'OMEL és el pol espanyol i és el responsable de la gestió del mercat diari i intradiari (s'encarrega del mercat de l'electricitat pel dia següent) mentre que l'OMIP (o pol portuguès) és el responsable de la gestió dels mercats de futurs (mercat de l'electricitat a llarg termini).

Pel correcte funcionament del sistema es necessiten les figures de l'operador de mercat, que s'encarrega de la gestió econòmica del mercat de producció, i de l'operador del sistema, que realitza la gestió tècnica del sistema elèctric.

Aquest mercat comprèn el conjunt de mecanismes que permeten conciliar la lliure competència en la generació de l'energia elèctrica amb l'exigència de disposar d'un subministrament d'electricitat que compleixi els criteris de seguretat i qualitat exigits.

Al mercat participen, per una banda, els agents generadors d'energia i, per altra banda, els agents compradors, que són els distribuïdors, els comercialitzadors i els consumidors qualificats. Les transaccions d'energia que els agents negocien dins del mercat responen a les seves previsions de demanda, de capacitat de generació i de la capacitat de la xarxa de transport.

A la Figura 1 podem veure representada l'estructura del mercat ibèric d'energia elèctrica.

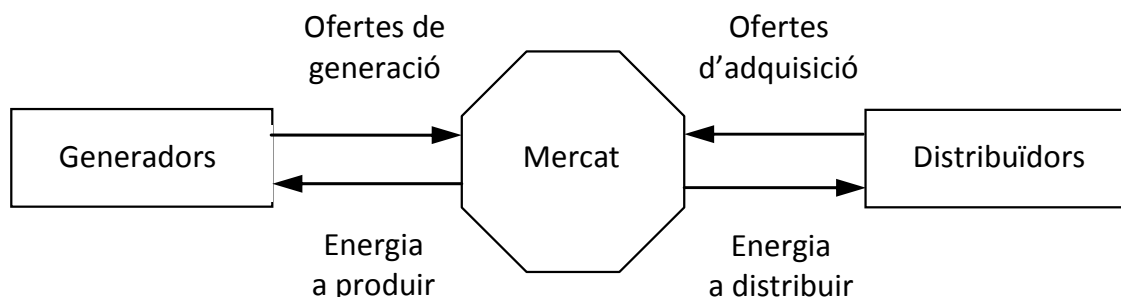


Figura 1: Estructura del mercat ibèric de l'electricitat

El mercat elèctric inclou els mercats de futurs, el mercat diari i els mercats intradiaris. Tal i com ja s'ha comentat, el pol espanyol controla el mercat diari i intradiari, mentre que el pol portuguès controla el mercat de futurs. El mercat diari és la peça clau dins del mercat ibèric de l'electricitat. Aquest mercat té com objectiu portar a terme les transaccions d'energia elèctrica pel dia següent mitjançant la presentació d'ofertes de venda i adquisició d'energia elèctrica.

Cada dia es divideix en 24 períodes de programació que equivalen a les 24 hores d'un dia. En cada un d'ells es realitza una subhasta d'energia que fixa el preu de venda i la quantitat d'energia a produir. A la Figura 2 podem veure representada la demanda d'energia per un dia en concret i quin tipus d'energia va participar en el seu subministrament.

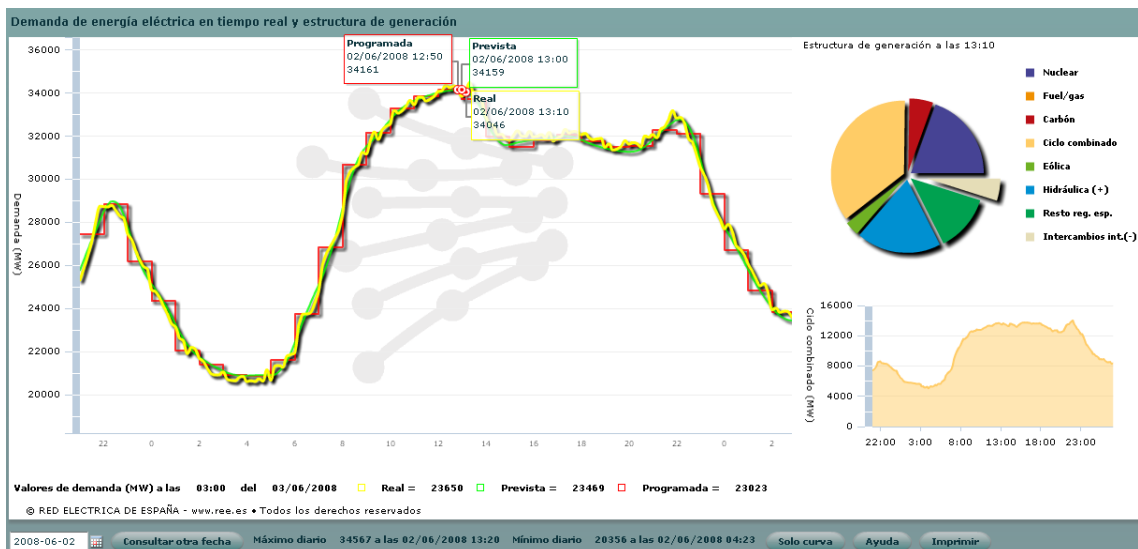


Figura 2: Demanda d'energia elèctrica del dia 2 de juny de 2008
(Font: <https://demanda.ree.es/demanda.html>)

L'operador del mercat és qui realitza el procés de subhasta de l'energia. El sistema bàsicament consisteix en recollir totes les ofertes d'energia i totes les demandes d'energia amb els seus respectius preus i dur a terme un procés de cassació. El preu en cada període horari correspon al preu de la darrera oferta de producció que hagi estat acceptada per a poder satisfer la demanda. Així, si el preu queda fixat en 6 c€/kWh, totes les ofertes de generació que s'hagin efectuat a un preu més baix seran acceptades mentre que les que s'hagin ofert a un preu més alt seran rebutjades. A través del web de OMEL es poden consultar tots els preus de mercat en temps real (www.omel.es).

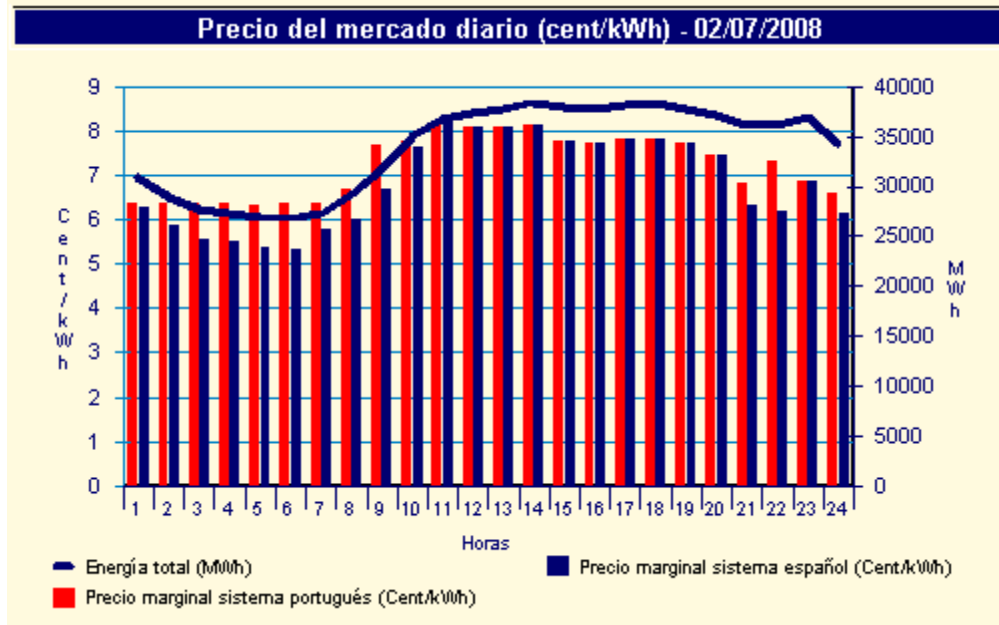


Figura 3: Preu del mercat diari (cent/kWh) del dia 2 de juliol de 2008. Font: www.omel.es

Origen del problema

Dins del mercat ens centrarem en una companyia concreta de generació d'electricitat. En l'entorn en el que es mou el sector elèctric espanyol de l'energia des de la seva reestructuració, una de les principals tasques a desenvolupar per part de les companyies generadores és tornar a definir les seves polítiques de producció. És necessari que calculin la millor resposta d'una unitat generadora dins d'aquest mercat competitiu.

Per a poder maximitzar els seus beneficis han de decidir:

- Quanta energia ofereixen al mercat?
- En quins períodes del dia?
- A quin preu?

Podem escriure aquest problema de la manera més senzilla possible. Llavors el què ens interessaria seria maximitzar una funció que ens representi els nostres beneficis. Els beneficis nets que obtenim són la diferència entre el que guanyem per cada unitat d'energia venuda menys els costos que ens suposa produir-la.

Podem considerar que la funció de costos de producció - $c(p)$ - és una funció de tipus lineal, com per exemple:

$$c(p) = a + bp$$

on p representa l'energia produïda durant una hora (MWh) i a i b són els coeficients de la funció lineal de costos. Per altra banda, per a cada unitat d'electricitat venuda al mercat guanyem λ (on λ representa el preu de l'energia al mercat). No es pot produir el què es vulgui, ja que existeixen una sèrie de restriccions que cal complir, per exemple, les restriccions tècniques de la unitat de producció.

El cas més senzill podria ser que la producció hagués d'assolir un nivell mínim i no pogués superar un nivell màxim. Per exemple, l'energia produïda per una central no pot superar una certa quantitat màxima \bar{P} , ni estar per sota d'una certa quantitat mínima \underline{P} (les centrals funcionen així: són màquines molt grans que si estan engegades han de produir una certa quantitat mínima i, a més, necessiten unes quantes hores per apagar-se completament).

Aquesta situació es pot expressar de la manera següent:

$$\underline{P} \leq p \leq \bar{P}$$

De forma que el problema de maximitzar el benefici queda com:

$$\begin{aligned} \max B(p) &= \lambda p - c(p) = \lambda p - (a + bp) = \\ &= (\lambda - b)p - a \end{aligned}$$

$$\text{Subjecte a: } \underline{P} \leq p \leq \bar{P}$$

Si la realitat es correspongués amb aquest model seria molt fàcil trobar la solució òptima. Podeu comprovar que el valor màxim dels beneficis sempre s'obté amb un valor de la producció que és $p = \bar{P}$ si $(\lambda - b)$ és positiu i $p = \underline{P}$ si $(\lambda - b)$ si és negatiu.

Malauradament la realitat és més difícil de descriure. Un dels principals problemes que es tenen és que els preus de mercat, λ , que són els que al final marcaran els beneficis per unitat d'energia venuda, es decideixen un cop la companyia ha fet les ofertes de venda. Així doncs, quan han de decidir la quantitat a produir el dia següent no es coneix el preu al que els la pagaran. Aquest preu no depèn només de l'oferta d'aquesta companyia sinó de la de tots els competidors, del preu de les ofertes de compra i de molts altres factors. Per tant, el preu de mercat, λ , és el que es coneix com variable aleatòria.

Arbre d'escenaris

Com ja hem vist, les companyies elèctriques tenen la necessitat d'incloure en els seus models d'optimització algun tipus d'aproximació de la variable aleatòria *preu de l'electricitat*, ja que no sabran el seu valor real fins que no el fixi el Mercat Elèctric. Cal fer-ho, però, de forma que sigui apropiada per la seva representació amb un ordinador. I una bona manera és mitjançant el que s'anomena arbre d'escenaris.

De manera general, un arbre és una manera de representar una estructura jeràrquica de manera gràfica. S'anomena arbre precisament perquè la seva estructura recorda a la d'un arbre, tot i que es mostra cap per avall en comparació amb els arbres reals: l'arrel es troba a la part superior, mentre que les fulles estan a la part inferior.

Cada membre de l'arbre s'anomena node. Totes les estructures d'arbre tenen un node que no té cap node superior; aquest membre s'anomena arrel (node A de la Figura 4). Podem pensar doncs en l'arrel com el node inici. A la Figura 4 es pot veure representada l'estructura d'un arbre.

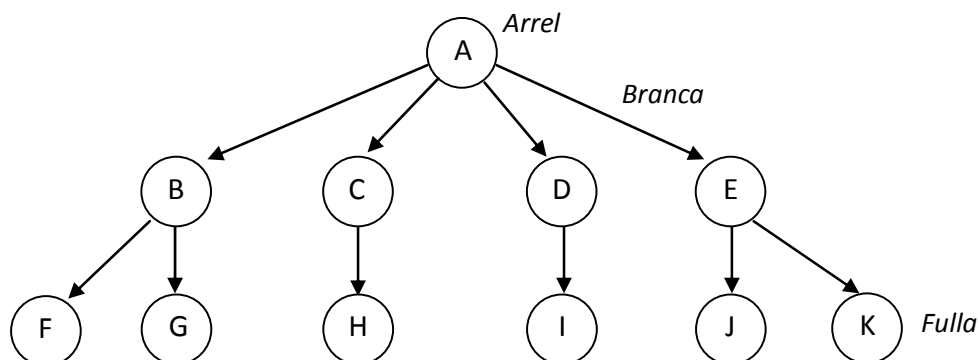


Figura 4: Estructura d'arbre

Els noms de les relacions entre els nodes s'anomenen de la mateixa manera que les relacions familiars. La terminologia i propietats bàsiques d'un arbre són les següents:

- Cada node, excepte el node arrel, està connectat per una única aresta (o branca) a un node pare, que es troba en un nivell superior de la jerarquia i més a prop del node arrel.
- L'aresta que connecta un node pare amb el seu node fill s'anomena branca.
- Un node fulla és un node que no té cap fill (node F, per exemple).

Un arbre d'escenaris, però, té algunes característiques més que un arbre qualsevol. El node arrel en un arbre d'escenaris representa el dia d'avui i és una informació coneguda per a nosaltres. Els nodes següents representen els esdeveniments futurs, elements desconeguts associats a la nostra variable aleatòria. Els arcs que connecten els nodes representen possibles valors de la variable i la seva incertesa.

Tornem a considerar el cas més senzill: suposem que tenim la distribució del preu de mercat per una hora concreta H del dia de demà (és a dir, el rang de valors que pot prendre la variable aleatòria i les seves probabilitats). Aleshores construir l'arbre d'escenaris per aquesta hora simplement consisteix en discretitzar la variable contínua que representa el preu de mercat per aquesta hora obtenint una sèrie de valors concrets amb una probabilitat corresponent de forma que quedi representat tot el rang de valors.

Suposem que la distribució dels preus de mercat per l'hora H segueix una Normal de mitjana 2 i desviació estàndard 0,5:

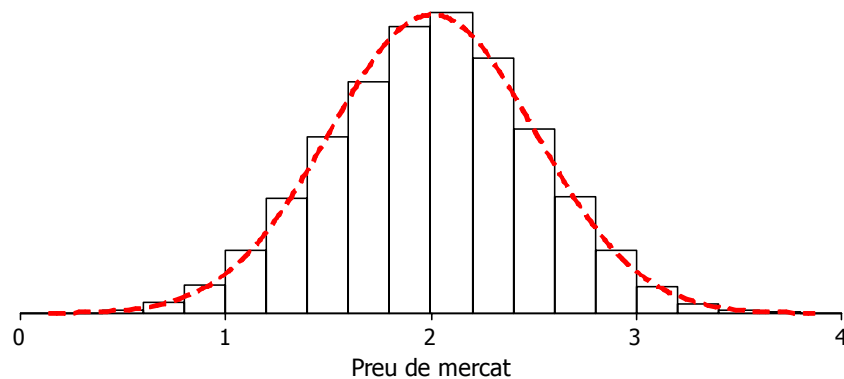


Figura 5: Possible distribució dels preus de mercat [Normal(2; 0,5)]

Si volguéssim discretitzar la distribució en 4 valors necessitaríem donar aquests 4 valors i les seves probabilitats associades. D'aquesta manera obtenim la següent taula de valors:

Valor	Probabilitat
1.5	0.2
2	0.5
2.5	0.2
3	0.1

Així doncs obtenim el següent arbre d'escenaris per l'hora H:

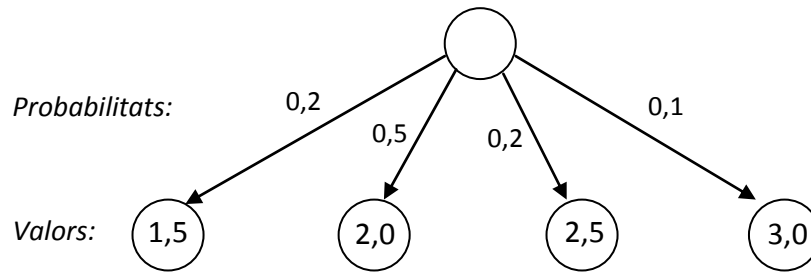


Figura 6: Arbre d'escenaris associat a l'hora H

Pel cas estudiat al projecte es va fer servir un arbre on es representaven els possibles valors per "demà" i el dia següent pels 24 valors del preu, un per cada hora del dia. L'estructura de l'arbre es complica doncs una mica més i és necessari definir notació complementària.

El conjunt de nodes i branques que van des de l'arrel fins a una de les fulles conformen un dels possibles conjunts de 24 valors del preu λ per demà i dels 24 λ 's per demà passat. Així doncs es farà servir la paraula escenari per designar aquest conjunt d'esdeveniments, tal i com podem veure representat a la Figura 7.

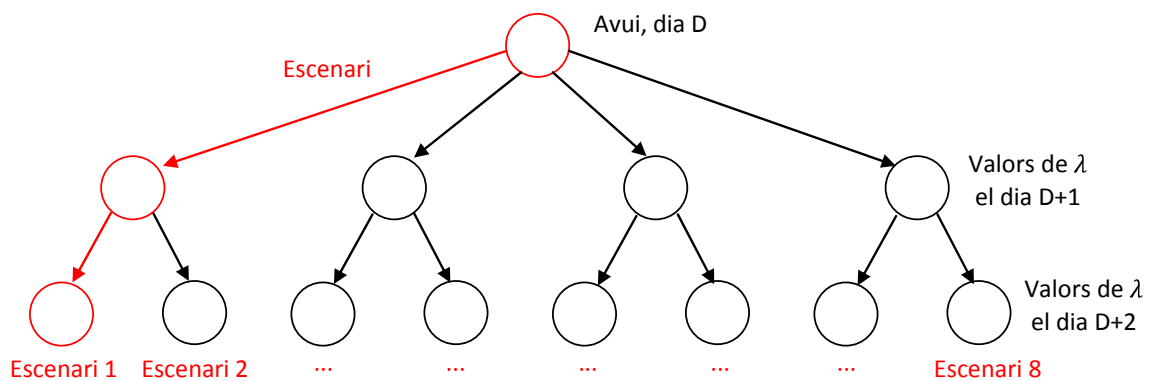


Figura 7: Arbre d'escenaris

La situació ideal seria que tot el conjunt de possibles valors del preu de mercat quedessin representats pel conjunt d'escenaris de l'arbre construït. Llavors, l'arbre d'escenaris hauria d'incloure tant els casos més optimistes com els casos més pessimistes.

Com ja s'ha explicat, el mercat diari consta de 24 períodes horaris consecutius. Cada node de l'arbre representa un dia dividit en els seus corresponents períodes. És a dir, a cada node tenim 24 valors del preu λ de mercat.

La profunditat d'un node és la llargada del camí des de l'arrel fins al node. Tots els nodes que tinguin la mateixa profunditat, és a dir, que estiguin al mateix nivell, pertanyeran al mateix període o fase de l'algorisme (en aquest exemple pertanyeran al mateix dia).

Cada període està associat a un punt del temps: la primera etapa conté les realitzacions corresponents al primer dia (dia D+1), la segona etapa a aquelles que corresponen al segon dia (dia D+2) i així successivament.

Construcció d'arbres

Hi ha diverses maneres d'enfocar la construcció d'arbres d'escenaris. En aquest cas s'han usat tècniques de generació usant un mètode basat en l'optimització. L'optimització és la part de les matemàtiques que pretén trobar la solució mínima o màxima a un problema donat. El cas més senzill seria el de trobar el mínim d'una funció quadràtica.

En el model basat en l'optimització és la persona encarregada de prendre les decisions qui especifica les propietats estadístiques rellevants que s'han de complir a l'hora de construir l'arbre. Per tant, en aquest cas, el què cal especificar són les propietats estadístiques rellevants de la distribució del preu de mercat. Aquestes propietats han estat descrites a partir del tractament estadístic de les dades històriques disponibles. En el procés de construcció dels arbres d'escenaris es garanteixen aquestes propietats estadístiques fent que els valors del preu de mercat i les probabilitats de les branques de l'arbre siguin variables del problema. La funció objectiu serà minimitzar la diferència entre les propietats estadístiques que s'han especificat i les que té l'arbre d'escenaris que s'ha construït.

Per construir l'arbre, en comptes de resoldre un gran problema d'optimització, s'ha emprat l'optimització seqüencial. Primer resollem un problema per al dia de demà (dia D+1 de la Figura 7). Aleshores, per a cada un dels nodes que hem obtingut, resollem el problema per al dia següent (dia D+2). Així anem trobant tots els valors de λ per a cada escenari d'una manera progressiva.

Es pot escriure el procés de construcció d'un arbre d'escenaris a través de l'esquema següent, que té l'estructura pròpia d'un algorisme:

Repetir per a tot període

Repetir per a tot node que pertany al període actual

Passa 1: Obtenir mitjançant eines estadístiques els valors associats al període, que seran les dades conegudes del nostre problema.

Passa 2: Crear i solucionar el problema d'optimització trobant els valors del preu de l'energia per a cada hora de manera que es compleixin les especificacions descrites al pas anterior.

Passa 3: Guardar la informació obtinguda en les estructures de dades corresponents. Mitjançant aquestes estructures de dades podrem guardar l'arbre d'escenaris.

Fi Repetir

Fi Repetir

Resultats

Per a resoldre aquesta sèrie de problemes va ser necessari l'ús d'un llenguatge especial de programació i un programa específic per resoldre aquest tipus de problemes d'optimització. Finalment, i després d'ajustar correctament el model a aquest cas particular, es va obtenir un arbre d'escenaris que representa correctament el conjunt de possibles valors del preu de l'energia elèctrica (que com ja s'ha comentat anteriorment és variable i, per tant, es desconeix el seu valor real en un punt concret del temps).

A la Figura 8 es pot veure la solució que es va obtenir en construir un arbre amb 11 branques per dos dies (amb 11 nodes a la primera fase que representen els possibles conjunts de 24 preus pel primer dia i de cada un d'ells 11 possibles preus pel segon dia). Cada una de les línies del gràfic representa un dels 121 escenaris. En negre està representada la previsió del preu per aquestes 48 hores.

Amb els arbres obtinguts es va solucionar el problema de l'oferta òptima al mercat diari de l'energia elèctrica, que era el problema que realment ens interessava resoldre. Així doncs, ja estàvem en condicions de dir-li a la companyia generadora la quantitat d'energia que havia d'oferir al mercat pel dia següent. A la Figura 9 podem veure

gràficament l'energia que una central tèrmica vendria al mercat en cada una de les 48 hores següents per diferents escenaris de preus.

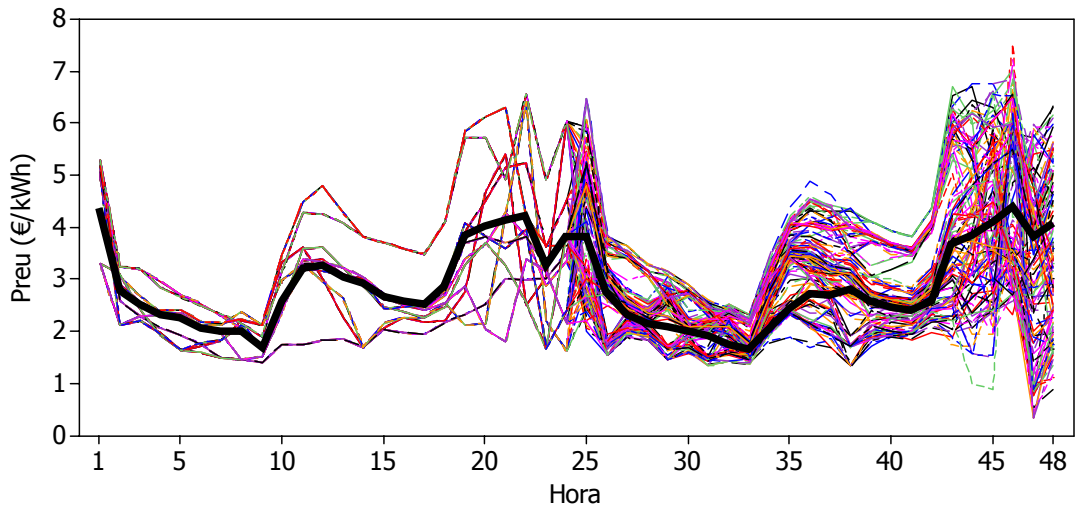


Figura 8: Escenaris d'un arbre d'onze branques

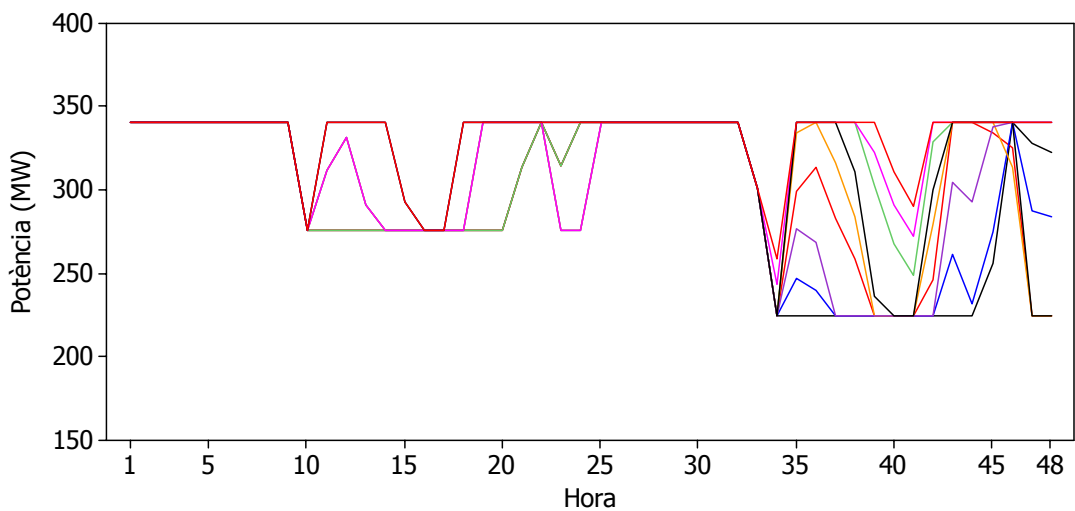


Figura 9: Potència d'una unitat tèrmica en un grup d'escenaris d'un arbre amb onze branques

Conclusions

La generació dels arbres d'escenaris és una peça clau a l'hora de resoldre problemes on hi ha variables aleatòries.

Mitjançant aquest cas s'ha pogut veure un exemple de com els models matemàtics de la investigació operativa ens donen eines per resoldre problemes reals de presa de

decisions. Hem vist com aquests models ajuden a donar una resposta a problemes complexos de presa de decisions com els que es plantegen les companyies de producció d'energia elèctrica:

- Quanta energia ofereixen al mercat?
- En quins períodes del dia?
- A quin preu?

El gran avantatge d'aquestes tècniques és que poden ser aplicades a un gran ventall de situacions diferents: tant ens pot servir per obtenir l'oferta òptima al mercat diari de l'energia elèctrica com per a dissenyar una estratègia d'inversió en borsa o saber quants diners han de posar els bancs en els seus caixers automàtics. Les aplicacions poden ser infinites, i els límits només cal que els poseu vosaltres.

(Projecte de la Diplomatura d'Estadística, presentat el setembre de 2007 amb el títol "Generació d'escenaris per a l'optimització de l'oferta al mercat elèctric")

A través d'aquest exemple podem veure la potència d'unes tècniques que s'han aplicat per resoldre problemes tan diversos com el disseny de les cues als parcs temàtics Disney, optimitzar les rutes de petits distribuïdors locals o millorar els horaris de la tripulació de línies aèries. Podeu trobar molts més exemples al web www.scienceofbetter.org



Elisenda Vila va estudiar la Diplomatura d'Estadística a la UPC i ara està fent l'últim curs de la Llicenciatura i el Màster en Estadística i Investigació Operativa. A més de ser una estudiant brillant, participa i coneix com a pocs la vida de la Facultat. Col·labora com a becaria a Ordenació d'Estudis, és representant dels estudiants en la Junta de Facultat i també en la seva Comissió Permanent i participa al curs de "Bioestadística per a no estadístics" que s'imparteix a la Facultat. També ha format part de la comissió que ha dissenyat els nous estudis del Grau Interuniversari d'Estadística, organitzat per la Universitat de Barcelona i la UPC.

8

Estudi de mercat per definir les característiques d'una nova varietat de galetes de xocolata

Projecte realitzat per: **Sara Solanes i Giner**
Dirigit per: **Lourdes Rodero de Lamo**

El llançament de nous productes al mercat sovint requereix importants inversions (en disseny, en noves línies de producció, publicitat,...) i cal estar segurs que el producte tindrà l'acceptació prevista ja que si no es compleixen les previsions les pèrdues poden ser molt grans. Tampoc és una bona notícia que la demanda sigui molt més gran que l'esperada si el sistema de producció no és capaç d'atendre-la. Segurament aquest excés de demanda, creada en la campanya de llançament del nou producte, serà coberta per altres empreses de la competència. Mal negoci.

En aquest terreny, com en molts d'altres, convé prendre les decisions basant-se en informació de qualitat (quin tipus de producte apreciaran més els clients, quant se'n vendrà, quin tipus d'envàs agradarà més, quin preu estarien disposats a pagar...). Aquesta informació la poden subministrar els experts, amb un grau de fiabilitat difícil de preveure, o es pot obtenir a través d'un estudi de mercat, preguntant als possibles consumidors les coses que volem saber.

Cal, però, escollir bé la mostra, assegurant-nos que les dades que subministraran són correctes, caldrà també analitzar-les de la forma adequada per treure la informació que interessa amb el grau de confiança previst.

Objectius de l'estudi

Es vol obtenir informació que faciliti la presa de decisions d'una empresa a l'hora de llançar al mercat una nova varietat d'un dels seus productes, que en aquest cas és una nova galeta de xocolata.

En concret, els objectius són:

1. *Conèixer si la nova varietat incrementarà les vendes i trobar la combinació de varietats òptima.*

En aquests moments el fabricant ja té 3 varietats al mercat i vol saber quant augmentaran les vendes en afegir una varietat nova. També es vol aprofitar l'estudi per analitzar què passaria si es llencessin d'altres varietats. S'aplicarà l'anàlisi TURF (*Total Unduplicated Reach Frequency*).

2. *Quantificar l'acceptació de la nova varietat.*

Escollida la varietat que es vol introduir al mercat, es vol analitzar amb profunditat quina acceptació tindrà.

3. *Determinar la millor alternativa de producte de la nova varietat.*

Existeixen 3 possibles alternatives de fabricació de la nova varietat i es vol saber quina agradarà més al consumidor.

4. *Determinar l'envàs que té més acceptació entre el públic consumidor.*

Es volen comparar dos tipus d'envàs per saber quin agrada i crida més l'atenció.

5. *Trobar el preu òptim.*

Fixar el preu és una de les decisions més difícils i arriscades. Es vol saber què opinen els consumidors sobre el preu que hauria de tenir aquest producte. S'aplicarà el model PSM (*Price Sensitivity Model*).

Recollida de les dades

Per obtenir la informació que es necessita cal recollir dades. Aquestes dades s'obtenen mitjançant una enquesta realitzada a una mostra de consumidors de galetes de xocolata.

Característiques de la mostra

A causa de la naturalesa d'aquesta nova galeta s'ha investigat sobre les següents poblacions objectiu (*targets*, en l'argot d'aquets estudis):

- a) Mares d'entre 30 i 55 anys amb fills/es menors de 15 anys. Aquesta població s'ha dividit en dos intervals d'edat: de 30 a 40 anys i de 41 a 55, i per cada interval s'ha buscat el mateix nombre de participants.
- b) Nens/es entre 9 i 12 anys, repartits al 50% segons el sexe.

S'han escollit mares ja que normalment són les responsables de les compres a la llar i nens/es perquè són el consumidor final (l'anomenat *core target*). Ambdós segments han de consumir galetes farcides de xocolata i ser residents de les ciutats de Barcelona, Madrid, Sevilla, Bilbao, València i Saragossa (una sisena part de la mostra de cada ciutat).

Es podria haver plantejat la recollida de dades de manera que no calgués que fossin consumidors d'aquest tipus de galeta, però l'objectiu fonamental era oferir un nou producte als consumidors de productes similars. Ampliant el *target* a no consumidors hauríem obtingut valoracions més baixes perquè segurament no els agraden aquest tipus de galetes.

Grandària de la mostra

Els primers càlculs per determinar la grandària de la mostra es van fer tenint en compte les valoracions que es volien demanar als entrevistats.

Cada persona havia de valorar sis conceptes. El concepte és la descripció de la galeta, per exemple: "galeta farcida de xocolata blanca tova amb gust de taronja", i aquesta valoració s'ha de fer sense veure ni tastar la galeta. Després, s'han de fer valoracions de 3 varietats d'un dels conceptes per les quals sí que cal tastar les galetes.

Es va decidir que cada persona tastaria 2 de les 3 galetes i no totes tres. La raó principal és per un tema de durada i qualitat de l'entrevista. Cal tenir en compte que com més productes hagi de valorar una persona, cada cop valora amb menys sinceritat ja que l'enquesta es fa pesada i baixa la concentració de la persona enquestada.

Tenint en compte tot això es va proposar una mostra de 300 individus per poder obtenir una mostra de 200 entrevistes per varietat (100 de mares i 100 de nens), ja que habitualment es considera que fa falta un mínim de $n=100$ entrevistes per

producte i *target* per tenir un marge d'error de $\pm 10\%$ i aquest era el marge d'error que el fabricant estava disposat a acceptar.

Per qüestions econòmiques, però, va ser necessari reduir la mostra. Finalment es va plantejar una mostra teòrica de 225 entrevistes, obtenint una mostra de 150 per cada varietat (75 de mares i 75 de nens/es).

Les 225 entrevistes es van repartir a les ciutats abans esmentades, que són les que tenen més habitants a Espanya. També cal tenir en compte que distribuir la mostra en diferents ciutats facilita la captació i fa que el ritme del treball de camp sigui més ràpid. Per escollir les mares que havien de formar part de la mostra es va decidir prendre dos intervals d'edat, per no entrevistar, per exemple, només a les mares de 30 anys, ja que poden tenir un punt de vista diferent de les mares de 55 anys. A més, tot i que no és un objectiu important d'aquest estudi, si ens interessés podríem veure si existeixen diferències significatives entre els dos intervals d'edat.

Les grandàries de mostra previstes, i les que finalment es van obtenir, són les que es recullen a la Taula 1.

Taula 1: *Grandàries de mostra real i prevista (en cursiva i entre parèntesis) per cada segment*

		Barcelona	Madrid	València	Sevilla	Bilbao	Saragossa	TOTAL
Mares	30 a 40 anys	11 (<i>10</i>)	10 (<i>10</i>)	11 (<i>9</i>)	9 (<i>10</i>)	10 (<i>10</i>)	15 (<i>9</i>)	66 (<i>58</i>)
	41 a 55 anys	9 (<i>10</i>)	10 (<i>9</i>)	10 (<i>10</i>)	9 (<i>9</i>)	9 (<i>9</i>)	5 (<i>10</i>)	52 (<i>57</i>)
Nens/es	Nens	11 (<i>10</i>)	10 (<i>9</i>)	8 (<i>9</i>)	11 (<i>9</i>)	9 (<i>9</i>)	9 (<i>9</i>)	58 (<i>55</i>)
	Nenes	9 (<i>9</i>)	10 (<i>10</i>)	11 (<i>9</i>)	10 (<i>9</i>)	9 (<i>9</i>)	9 (<i>9</i>)	58 (<i>55</i>)
TOTAL		40 (<i>39</i>)	40 (<i>38</i>)	40 (<i>37</i>)	39 (<i>37</i>)	37 (<i>37</i>)	38 (<i>37</i>)	234 (<i>225</i>)

Estructura del qüestionari

El qüestionari comença amb unes preguntes filtre per tal de veure si la persona seleccionada compleix els requisits necessaris per poder formar part de la mostra. Un cop passats els filtres inicials s'entra en la fase del concepte, on es mostren les descripcions dels 6 conceptes de producte, 3 dels quals ja estan al mercat (C1, C5, C6) i 3 possibles noves varietats (C2, C3, C4) i es realitzen preguntes per poder esbrinar la combinació de varietats que maximitzarà les vendes (objectiu 1).

Després es fan preguntes específiques sobre el concepte C4, el que es vol introduir al mercat, per tal de veure quina acceptació tindrà aquesta nova varietat (objectiu 2).

Seguidament passem a la fase del producte, on es tenen 3 productes de la varietat C4 realitzats de 3 maneres diferents (L, H i G) i cada persona entrevistada en prova 2 i opina sobre aquests 2 productes (objectiu 3).

A continuació es mostren 2 formats d'envàs diferents (A i B) i es pregunta per la preferència per tal d'esbrinar quin dels 2 envasos agrada més (objectiu 4). Finalment, es fan preguntes relatives al preu del producte (objectiu 5).

L'entrevista s'acaba amb algunes preguntes demogràfiques per poder classificar la persona enquestada.

Captació de persones per la mostra. Entrevistes

Les entrevistes es van fer en sales d'hotels centrals de cadascuna de les ciutats. La captació es realitza al carrer, prop de l'hotel on es fan les entrevistes (que sempre són llocs molt concorreguts) on els enquestadors busquen persones que compleixin les característiques que es necessiten, en aquest cas mares i nens/es.

Un cop troben alguna d'aquestes persones, se li realitzen unes preguntes filtre i si passen tots els filtres i la persona accepta col·laborar en l'estudi, se l'acompanya a una sala de l'hotel on hi ha tot el material necessari per fer l'enquesta.

Les enquestes es fan pel sistema anomenat CAPI (*Computer Assisted Personal Interviewing*) que consisteix en anar entrant directament a un ordinador les respostes que donen els entrevistats. D'aquesta manera es recullen les dades amb els filtres i les consistències controlades (detecció automàtica de possibles errors en la introducció de les dades) i no cal procedir a gravar els qüestionaris a posteriori ni a fer-ne la depuració.

Com ja s'ha dit anteriorment, cada una de les persones seleccionades haurà de valorar 6 conceptes. Quan se'n qualifiquen tants, les valoracions a partir del segon concepte estan influenciades per les valoracions anteriors. Per tant, per tal d'eliminar l'efecte que té opinar d'un concepte en primer lloc, en segon lloc, etc., el millor que es pot fer és aleatoritzar l'ordre de les valoracions. És a dir, els conceptes es van presentar de forma aleatòria per cada un dels entrevistats.

El mateix passa quan es tasten dos productes, les valoracions del segon producte es veuen influenciades per les del primer producte. Per tal d'eliminar l'efecte de l'ordre, es rota l'ordre de prova, és a dir, la meitat dels enquestats van provar primer el producte L i després el producte H, per exemple, i l'altre meitat va provar primer el producte H i després el producte L.

Combinació de varietats que optimitzen les vendes

Després d'explicar com funcionarà l'entrevista i de fer unes primeres preguntes de classificació de l'entrevistat, se li ensenyen unes cartolines amb la descripció dels conceptes. Després de mostrar cada cartolina (l'ordre de presentació és aleatori) l'entrevistador pregunta:

“Pensant ara en la varietat de galeta que acaba de llegir, i en el cas que estigués disponible a la seva botiga habitual al preu que vostè en compra habitualment, podria dir-me fins a quin punt estaria vostè disposada a comprar aquesta galeta?”

I les respostes possibles, per cada concepte, són:

Segur que la compraria	Probablement la compraria	No sé si la compraria	Probablement no la compraria	Segur que no la compraria
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

A cadascuna d'aquestes respostes se li assigna un valor de 5 (“Segur que la compraria”) a 1 (“Segur que no la compraria”) i la mitjana d'aquests valors quantifica la intenció de compra per cada concepte.

Resultats de la intenció de compra

La varietat que més agrada a les mares és la del concepte 5, amb una diferència que resulta significativa respecte a totes les altres. Aquest era el resultat esperat, ja que aquesta varietat ja es troba al mercat i és el producte estrella del fabricant. Després tenim les varietats dels conceptes C6 i C1, sense diferències significatives entre elles. Aquestes dues varietats també són, juntament amb la C5, les que estan en el mercat actualment. Seguidament trobem el concepte C3 i després el C4, que és el que es vol introduir al mercat i, finalment, el C2.

Pel que fa als nens (Figura 1), aquests tenen dues varietats preferides, que són les corresponents als conceptes C5 i C1 entre les quals no hi ha diferències significatives (recordem que ambdues ja estan al mercat). Seguidament ve la varietat del concepte C4, que és la que es vol introduir al mercat i que està especialment enfocada als nens. A continuació trobem la varietat del concepte C6 (que també està al mercat), tot i que no hi ha cap diferència significativa respecte de l'anterior. Així doncs, estadísticament podem considerar que els nens tenen la mateixa opinió de les varietats C4 i C6. Finalment, tenim el concepte C2 que és, amb diferència, el que menys agrada als nens, igual que a les mares.

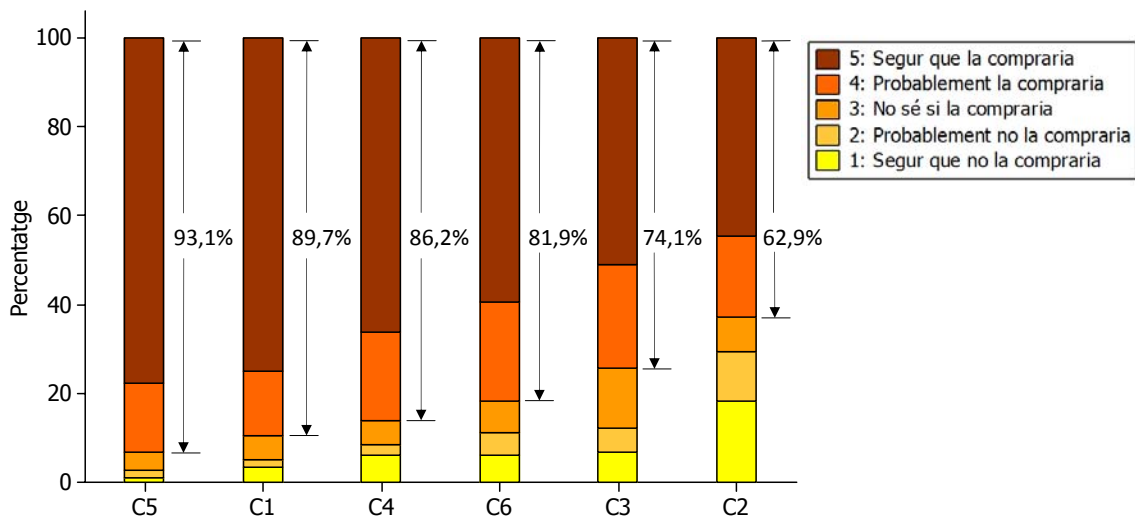


Figura 1: Resultats d'intenció de compra. Grup de nens/neses (n = 116)

Anàlisi TURF (Total Unduplicated Reach Frequency)

Aquesta anàlisi té com a objectiu trobar la combinació de varietats d'un producte que maximitza la seva penetració al mercat. Parteix de les respostes a les preguntes sobre intenció de compra de cada varietat i, a partir dels resultats obtinguts, s'avalua quina és la combinació que aconsegueix el percentatge global d'intenció de compra més gran.

Per exemple, si volem llançar al mercat dues varietats d'un producte, d'entre 3 possibles, la intenció de compra per cadascuna d'elles podrien ser: V1: 60%, V2: 65% i V3: 50%.

A la vista d'aquests resultats sembla que la millor decisió seria no llançar la varietat V3, ja que té menys intenció de compra, però si poguéssim observar els percentatges dels que han dit que comprarien una varietat i després també han dit que en comprarien una altra, aquests resultats podrien ser:

$V1 + V2 = 85\%$ (és a dir, el 85% dels entrevistats ha dit que compraria conjuntament la varietat 1 i la varietat 2)

$V1 + V3 = 80\%$,

$V2 + V3 = 95\%$.

Per tant, la combinació que abasta més mercat és la formada per les varietats V2 i V3 i la que no s'hauria de treure al mercat és la V1. És a dir, si els consumidors compren dues varietats tindran més vendes si el tipus de galetes que troben són V2 i V3. Podria ser que V1 i V2 tinguin intencions de compra semblants perquè les galetes són semblants, però no les comprarien alhora.

Aplicació de l'anàlisi TURF a les dades obtingudes

A partir de les respostes obtingudes a les preguntes sobre intenció de compra es pot construir una taula com la de la Figura 2, on s'indica el percentatge d'entrevistats que compraria alguna de les varietats indicades. A la Figura 2 només s'ha reproduït la primera part de la taula, fins a les combinacions de 2 varietats, però la taula completa conté també les combinacions de 3, 4, 5 i 6 varietats (en general, per k varietats el nombre total de combinacions és $2^k - 1$). L'anàlisi s'ha fet només amb les respostes que manifesten intenció de compra segura (responen "Segur que la compraria") aquestes respostes són les que, en el llenguatge d'aquesta metodologia, s'anomenen els "Top Box".

	C5	C1	C6	C3	C4	C2	Abast (%)	Mitjana	Desviació Estàndard
1 varietat	■						77,1	1	
		■					66,9	1	
			■				57,6	1	
				■			51,7	1	
					■		44,1	1	
						■	30,5	1	
2 varietats	■	■					85,6	1,68	0,47
	■		■				84,7	1,59	0,49
	■			■			84,7	1,52	0,50
	■				■		86,4	1,40	0,49
	■					■	83,1	1,30	0,46
	■	■					78,0	1,60	0,49
		■	■				78,0	1,52	0,50
			■	■			75,4	1,47	0,50
				■	■		72,0	1,35	0,48
		■				■	72,0	1,59	0,49
			■				68,6	1,41	0,50
				■		■	66,1	1,33	0,47
					■		68,6	1,40	0,49
						■	59,3	1,39	0,49
						57,6	1,29	0,46	

... Continuació amb els resultats de les combinacions de 3, 4, 5 i 6 productes simultàniament

Figura 2: Taula (parcial) amb els resultats a les preguntes sobre intenció de compra (mares)

L'abast indica el percentatge de la mostra que segur que comprarà alguna de les varietats indicades. Per exemple, tenim un 77,1% de les mares que diuen que segur que compraran el concepte C5, i el 85,6% han dit que comprarien el concepte C5, el C1, o tots dos simultàniament.

Favorable Mean és la quantitat mitjana de varietats que compraran les persones que comprin alguna de les varietats indicades. Per exemple, de les mares que compraran C5 i/o C1, en tenim algunes que només compraran una varietat i d'altres que en compraran les dues; en mitjana compraran 1,68 varietats (amb una desviació estàndard de 0,47).

Mirant el gràfic de la Figura 3 (construït a partir dels resultats de la taula de la Figura 2, però completa) veiem que si només tinguéssim una varietat al mercat aquesta hauria de ser la C5 i tindriem una penetració del 77,1%. Quan afegim una altra varietat arribem al 86,4% i la parella que obté aquesta penetració és la formada per les varietats C5 i C4. Aquest resultat pot sobtar ja que C4 és la varietat que ha quedat en 5a posició segons la intenció de compra individual, però com s'ha vist en la descripció de l'anàlisi TURF, això és perfectament possible.

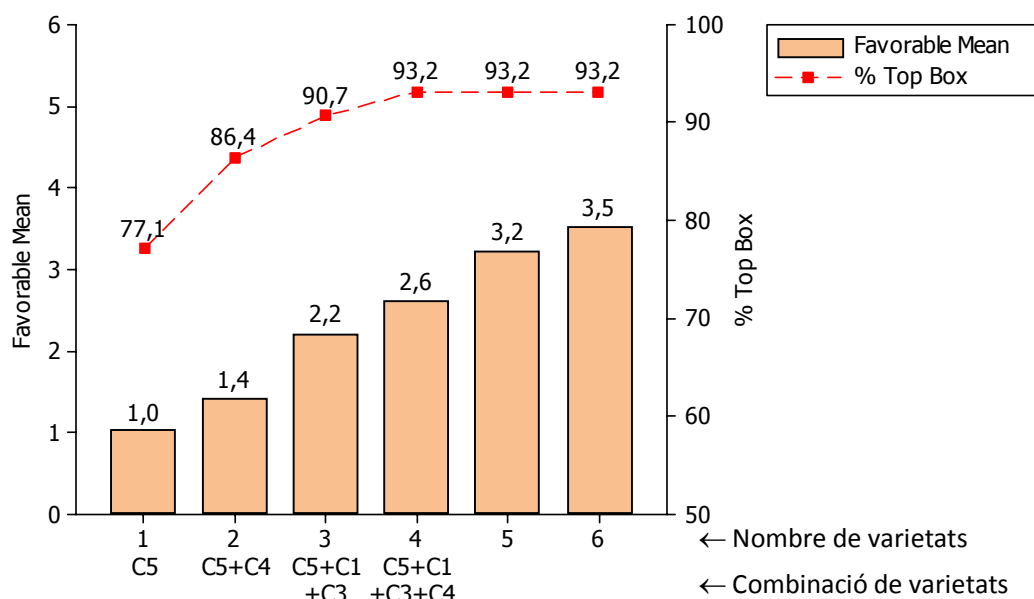


Figura 3: Anàlisi TURF sobre intenció de compra. Respostes de les mares

En afegir una tercera varietat augmentem la penetració fins a un 90,7% amb les varietats C5, C3 i C1 (ha desaparegut C4). Seguidament si tenim 4 varietats al mercat la penetració encara augmenta però menys que en els anteriors casos i arriba a un 93,2%. A partir d'aquí, tant si tenim al mercat 5 o 6 varietats, la penetració ja no augmenta respecte tenir-ne 4.

Pel que fa als nens obtenim valors de penetració més elevats que en les mares, per tant, podem tornar a pensar que estem parlant d'un producte que està força enfocat als nens. El 77,6% del mercat l'obtindrem amb la varietat C5 i aquesta varietat entra en totes les combinacions que ens maximitzen la penetració.

Anàlisi de l'acceptació de la nova varietat

El fabricant ja suposava, per la seva experiència i el seu coneixement del mercat basat en estudis anteriors, que el concepte C4 era el més adient per completar la seva oferta. És per això que es volia valorar de forma quantificada el nivell d'acceptació d'aquesta nova galeta.

La valoració general és força bona, les mares donen una valoració mitjana de gairebé 7 i els nens la valoren amb una mitjana superior a 8. La diferència entre aquestes mitjanes és estadísticament significativa.

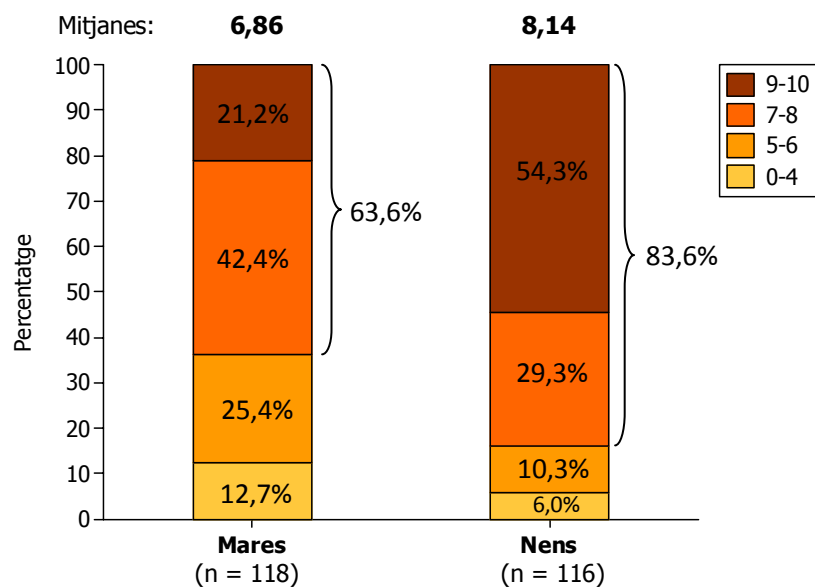


Figura 4: "Quina valoració d'1 a 10 donaria a la descripció del concepte de la galeta 4?"

Les respostes a la pregunta "Què és el que més li ha agradat del producte descrit?" estan resumides a la Figura 5. Observem que el que agrada més d'aquesta nova galeta és el tipus de farciment que porta, tant a les mares com als nens. El fabricant s'havia plantejat si farcir la galeta amb xocolata o amb crema de xocolata (xocolata rebaixada amb mantega i altres ingredients) per tant, necessitava saber si per a les mares aquesta diferència era important. Les respostes posen de manifest que gairebé el 85%

de les mares consideren que és molt millor la xocolata que no pas una crema de xocolata. El 13%, en canvi, prefereix la crema de xocolata i un 2,5% no es pronuncia.

El que més ha agradat:				El que menys ha agradat:			
	Mares	Nens	Total		Mares	Nens	Total
El farciment	62	98	160	Res	68	80	148
La galeta	14	25	39	El farciment	31	15	46
És de la marca X	19	10	29	La galeta		5	5
És nova	17		17	NS/NC	8	7	15
La xocolata	8	3	11	Altres coses	15	10	25
L'aspecte	5	3	8				
L'envàs	7		7				
El sabor	7		7				
Res	6		6				
El disseny	4		4				
Altres coses	15	14	29				

Figura 5: El que més i el que menys ha agradat del concepte 4

Després que l'entrevistat hagi aprofundit més sobre el concepte 4 i el conegui millor, se li torna a preguntar sobre la intenció de compra per veure si el fet de conèixer més el producte fa que augmenti o disminueixi aquesta intenció. S'han obtingut millors resultats que a l'inici, tant per a les mares com per als nens/es.

Anàlisi de la millor alternativa per la nova varietat

Existeixen tres alternatives possibles (que anomenem L, H i G) per fabricar aquesta nova varietat de galeta i cada persona entrevistada ha provat dues de les tres varietats i ha opinat sobre les tastades. La Figura 6 presenta un resum de les respostes sobre quina galeta ha agradat més. No hi ha cap diferència significativa entre les mares i els nens.

Quan mirem la preferència del producte en general entre les persones que han provat les galetes L i H, observem que tant les mares com els nens prefereixen la galeta H i aquesta preferència és estadísticament significativa. Respecte a les persones que han provat les galetes L i G, observem que tant les mares com els nens prefereixen la galeta G i aquesta preferència també és estadísticament significativa. Finalment si mirem la preferència entre les persones que han provat les galetes H i G, observem

que tant les mares com els nens prefereixen la galeta G, encara que en aquest cas la preferència és estadísticament significativa només pel grup dels nens.

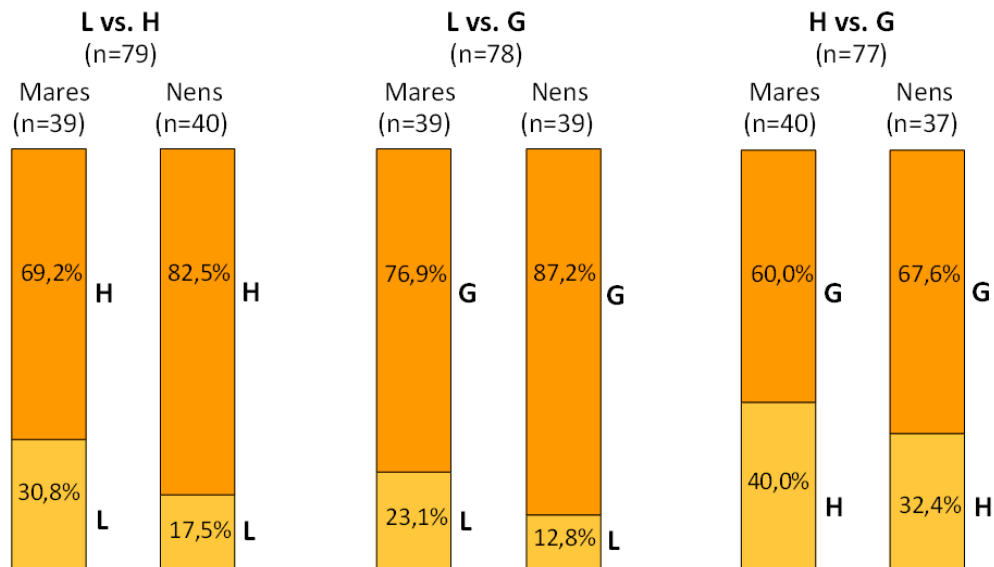


Figura 6: De les dues galetes que ha provat, en general, quina li ha agradat més?

Millor alternativa d'envàs

Recordem que es mostren dues alternatives d'envàs per veure quin agrada més a la gent. La diferència entre els dos envàsos és d'utilitat i de disseny, és a dir, en el cas de l'envàs A tenim el típic envàs de 12 galetes farcides on estan totes juntes dins un envàs cilíndric, en canvi, l'envàs B és una capsa amb 4 paquets de 4 galetes cada un.

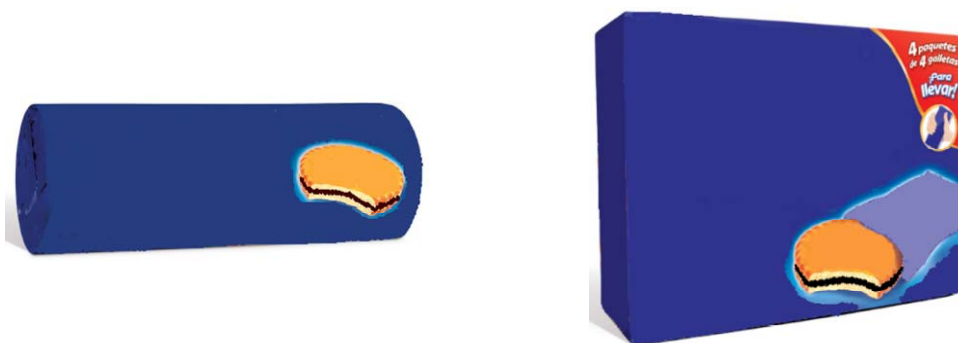


Figura 7: Les dues alternatives considerades pel tipus d'envàs

Tant a les mares com als nens, se'ls ha preguntat sobre la preferència entre els dos envàsos. Tal com posa de manifest la Figura 8 guanya molt clarament l'envàs B.

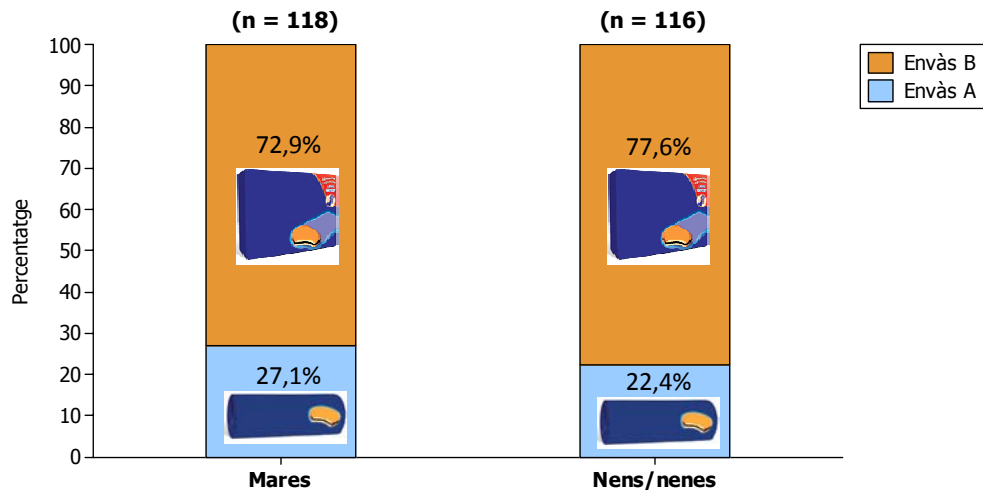


Figura 8: Respostes a la pregunta: "Dels dos envàs que li mostrem, quin li agrada més?"

Anàlisi del preu òptim

Fixar el preu és una de les decisions més delicades que s'han de prendre quan es llança un nou producte al mercat. Un preu massa alt pot espantar, mentre que infravalorar el valor del producte pot ser un error molt costós. És crucial, per tant, prendre aquestes decisions amb la màxima informació, que ha de ser recollida i analitzada amb rigor.

L'anàlisi que s'ha fet servir en aquest estudi fou proposat per l'economista alemany Peter Van Westendorp l'any 1970 i es coneix amb el nom de *Price Sensitivity Model*. Es basa en la realització de quatre preguntes als enquestats relacionades amb el preu del producte. Aquestes preguntes són:

1. A quin preu considera que aquest producte és massa barat, i no pot ser bo?
2. A quin preu considera que aquest producte és barat?
3. A quin preu considera que aquest producte és car?
4. A quin preu considera que aquest producte és massa car, i no val el que s'ha de pagar per ell?

A partir de les respostes obtingudes es poden construir gràfics com el de la Figura 9, que representa la proporció de persones que consideren que el producte és massa barat en funció del seu preu. Per exemple, si el preu és de 0,5 €, el 95% de les mares enquestades pensen que és massa barat, per 1,1 € només el 5% considera que es massa barat, i a partir de 1,6 € pràcticament ja ningú ho considera. Aquestes dades corresponen a les obtingudes en l'enquesta quan es demanava pel preu del producte en l'envàs A.

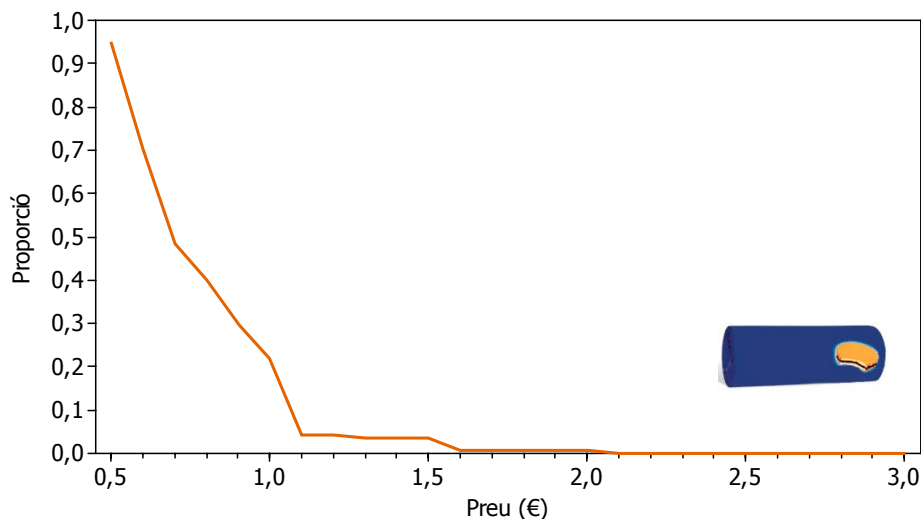


Figura 9: Proporció d'enquestats que consideren que el producte és massa barat en funció del preu, quan es presenta en l'envàs A

Superposant en aquest gràfic la corba que representa la proporció d'enquestats que consideren el producte massa car en funció del preu, s'obté la Figura 10. El punt de creuament de les dues corbes és el que es considera preu òptim (*Optimum Pricing Point*: OPP).

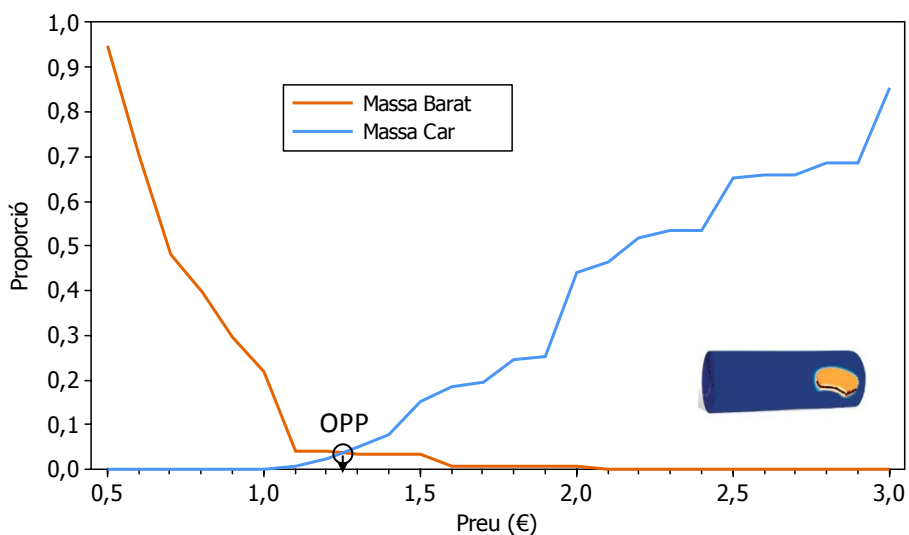


Figura 10: Determinació del OPP (*Optimum Pricing Point*) pel producte en l'envàs A

La Figura 11 i la Figura 12 inclouen també les corbes que representen les proporcions d'enquestats que consideren el producte simplement car o barat en funció del preu, en els envasos A i B respectivament. Els punts d'intersecció d'aquestes corbes proporcionen informació sobre quin preu convé establir. A més del OPP (*Optimum Pricing Point*), aquests punts són:

- IPP (*Indifference Price Point*): Segons Van Westendorp normalment representa o la mediana del preu actual pagat pels consumidors o el preu del producte d'una important marca líder del mercat.
- PMC (*Point of Marginal Cheapness*) i PME (*Point of Marginal Expensiveness*): Aquests dos punts marquen el rang de preus acceptable pel producte. Segons Van Westendorp, en mercats assentats, pocs productes competitius tenen preus fixats fora d'aquest rang.

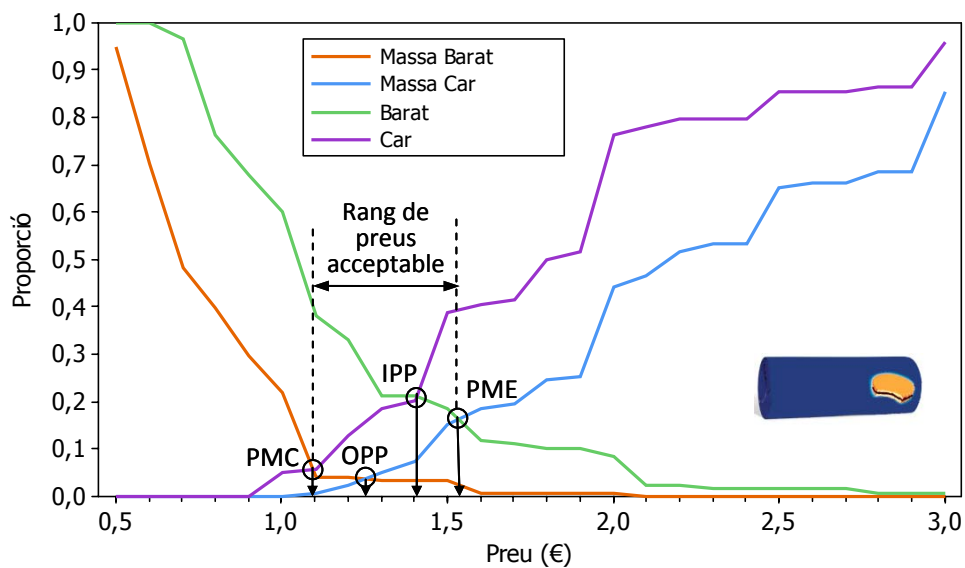


Figura 11: Corbes i punts d'intersecció quan s'utilitza l'envàs A

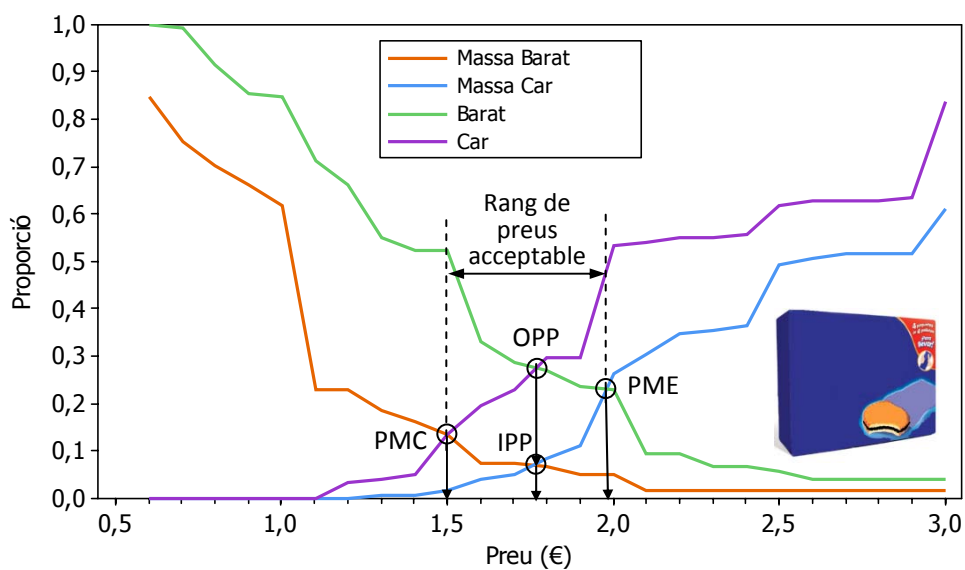


Figura 12: Corbes i punts d'intersecció quan s'utilitza l'envàs B

En el cas de l'envàs A, obtenim un rang de preus acceptable entre 1,09 € i 1,53 €, per tant, el preu teòric que havia pensat el fabricant de 1,19 € està dins d'aquest rang. El preu òptim que s'obté és de 1,25 € que és una mica superior al preu establert pel fabricant.

En el cas de l'envàs B el rang de preus acceptable està entre 1,50 € i 1,98 €, per tant, el preu de 1,44 € que havia pensat el fabricant està per sota d'aquest rang. El preu òptim que s'obté és de 1,77 €, més de 30 cèntims superior al que en principi s'havia establert. Aquesta informació va ser molt valuosa per fixar el preu final del producte.

(Projecte de la Llicenciatura d'Estadística, presentat el febrer de 2008 amb títol original "Estudi d'una nova varietat de galeta des de la perspectiva de concepte, producte, preu i envàs")

Ens diuen que segur que hem tastat alguna vegada aquestes galetes, i que segur que ens han agradat. No és estrany, ho estudien tot tan bé...



Sara Solanes va estudiar la Diplomatura d'Estadística a la Universitat de Barcelona i després va fer la Llicenciatura a la UPC. Ha completat la seva formació amb diversos cursos orientats a professionals sobre tècniques estadístiques i paquets de software especialitzats. En acabar la diplomatura ja va començar a treballar en una empresa dedicada a realitzar estudis sociològics i de mercat. Després, va canviar, dintre del mateix sector, i ara és coordinadora i tècnic del departament de procés de dades d'IPSOS Operaciones S.A., que pertany a un grup internacional líder en estudis comercials i d'opinió. Una de les seves aficions és cantar en un cor de Gospel (Twocats pel Gospel).

Millora de la qualitat

9

Reducció de defectes en el procés de producció d'un component d'automòbil

Projecte realitzat per: **M^a del Mar Costa Vaghi**
Dirigit per: **Alexandre Riba Civil**

L'estadística té un immens camp d'aplicació en el món industrial, on és vital tenir sempre la millor informació per poder prendre les millors decisions. I per tenir la millor informació cal saber utilitzar les tècniques estadístiques més adients en cada cas.

L'objectiu d'aquest projecte es centra en reduir el percentatge de defectes detectats en les proves de control final d'un producte. No es tracta d'evitar que arribi producte defectuós al client, que en aquest cas no arriba, sinó d'evitar les pèrdues econòmiques que significa haver de reparar els productes i repetir les proves. Per aconseguir aquesta reducció cal identificar quines són les causes que provoquen el problema, seleccionar aquelles en què convé centrar els esforços, aplicar les tècniques adequades per descobrir l'arrel dels problemes i poder plantejar els canvis necessaris per solucionar-los.

El projecte està emmarcat en un programa de millora "Sis Sigma", sistemàtica que s'està consolidant com la més utilitzada per les grans empreses per implantar els seus programes de millora de la qualitat i que té en l'aplicació de tècniques estadístiques un dels aspectes fonamentals.

L'empresa, el producte i el seu procés de producció

La fàbrica on s'ha dut a terme aquest projecte forma part d'una empresa multinacional que fabrica components pel sector de l'automòbil. Els seus clients són els grans fabricants de cotxes com BMW, Ford, Nissan, Opel, Peugeot, Citroën, Renault, Suzuki i Volvo, entre molts d'altres. La fàbrica està localitzada a Catalunya i té una plantilla d'uns 1.600 treballadors.

El producte que es fabrica forma part del motor del cotxe i està format per un conjunt de components que cal muntar, alguns comprats a l'exterior i d'altres produïts a la mateixa fàbrica. El procés de muntatge es realitza dins d'una cambra totalment aïllada a la qual només es pot entrar amb un uniforme especial, que inclou un barret com si es tractés d'un quiròfan. Això és així per evitar que puguin entrar partícules durant el procés, per petites que siguin, i quedin dins el producte final, cosa que provocaria un mal funcionament.

Un cop muntat, el producte surt de la cambra i passa per una sèrie de controls. Si el producte és rebutjat vol dir que té algun tipus de defecte i passa a reparacions, on intenten arreglar-lo i el retornen per repetir els controls. Si el producte és acceptat, significa que és bo i aleshores passa a les fases finals, que consisteix simplement en afegir alguns taps exigits pel client. D'allà passa a embalatge i finalment a expedicions.

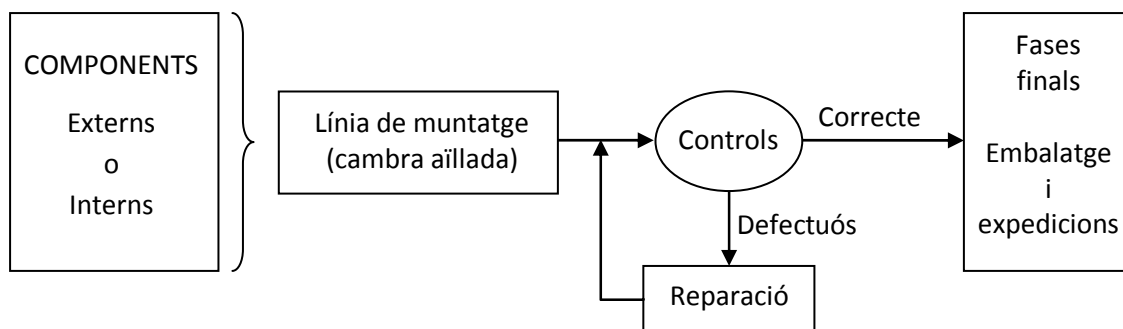


Figura 1: Esquema del procés de producció

El control final consisteix en simular que el producte es troba funcionant dins del motor del vehicle. Per aquesta prova, s'introdueix el producte de forma automàtica dins del banc de test, i allà, també automàticament, es connecta de manera que el resultat és un simulacre del sistema real. A partir d'aquí, se sotmet a diferents condicions de velocitat i pressió que simulen les diferents situacions en les que es pot trobar un vehicle, algunes corresponents a condicions normals de funcionament i altres a condicions extremes. Cada una d'aquestes condicions es coneix com a *operació*.

En cada una de les condicions en què es prova es mesura el cabal i la depressió, i es mira si el valor obtingut està dins dels límits de tolerància definits. Si ho està, es dona el producte com a bo (és a dir, funciona); sinó vol dir que el producte té algun problema en el cabal i/o la depressió i, per tant, es rebutja el producte.

Aquests problemes de rebuig ocasionen importants pèrdues econòmiques a l'empresa, raó per la qual es va decidir posar en marxa aquest projecte de millora.

La metodologia de millora “Sis Sigma”

Les empreses han de millorar contínuament per seguir sent competitives. Han d'adaptar-se a les noves demandes dels clients, millorar la seva satisfacció i fidelització amb els productes o serveis que se li subministren. També cal millorar per reduir costos fent els processos més eficients (disminuir defectes, produir menys ferralla, eliminar temps morts,...).

Els programes de millora sistemàtica inclouen aspectes organitzatius (lideratge de la direcció, responsabilitat i participació del personal), metodològics (quines etapes s'han de seguir) i recomanacions respecte a quines eines de resolució de problemes cal fer servir.

Tot i així, també hi ha “millors maneres de millorar”. Els programes “Sis Sigma” són, des de finals dels anys 90, els que s'han imposat, primer en les grans empreses multinacionals nord-americanes, i després arreu del món.

L'empresa en què s'ha dut a terme aquest projecte utilitza la metodologia Sis Sigma. Els seus aspectes clau són:

- Lligar les millores als valors d'uns indicadors que cal mesurar de forma objectiva (“millorar és canviar el valor d'un indicador en la direcció que interessa”).
- Quantificar sempre l'impacte econòmic (estalvis) de les millores introduïdes. Aquests estalvis s'han de veure reflectits finalment en el compte de resultats de l'empresa.
- Donar la màxima rellevància a les dades per prendre decisions (no es poden prendre decisions basades en intuïcions, suposicions, impressions,...). Tenen, per tant, un gran protagonisme les estratègies de recollida i d'anàlisi de les dades (en una paraula, l'estadística).
- La direcció de l'organització lidera i s'implica en els projectes de millora.

- Utilitzar una metodologia definida, que consta de 5 etapes. Els aspectes fonamentals de cada una de les etapes són:
 - Definir: Establir els objectius amb els indicadors i les mètriques adequades. Quantificar l'impacte econòmic de la millora.
 - Mesurar: Obtenir les dades necessàries per fitar el problema, diagnosticar-lo i orientar la seva resolució.
 - Analitzar: Treure conclusions a partir de les dades recollides.
 - Millorar: D'acord amb tota la informació obtinguda, plantejar i posar en marxa les estratègies de millora.
 - Controlar: Establir els procediments de control adients per assegurar que es mantenen els nous nivells de qualitat obtinguts.

Etapa DEFINIR. Objectius del projecte de millora

A l'inici del projecte, el percentatge de rebuig respecte la producció total era del 4,34%. L'objectiu marcat per la direcció era passar a un rebuig de l'1%.

Impacte econòmic

El percentatge de defectes inicial es pot dividir en dues parts: un 2% que no necessita reparació i un 2,34% que sí en necessita. Com que es va considerar que seria més fàcil reduir el percentatge que no necessita reparació, es va plantejar que l'1% final estaria compost per un 0,25% que no necessitaria reparació i un 0,75% que sí la necessitaria.

Sobre una producció anual prevista d'1 milió d'unitats, la reducció seria de 33.400 unitats defectuoses menys:

Taula 1: Reducció del nombre de defectes

	Defectes	No necessiten reparació	Necessiten reparació
Situació inicial	43.400	20.000	23.400
Situació final	10.000	2.500	7.500
Reducció	33.400	17.500	15.900

Repetir el test té un cost de 0,8€ i fer la reparació 7,8€. D'acord amb els valors anteriors, l'assoliment dels objectius reduirà en 33.400 el nombre de tests que s'hauran de repetir i en 15.900 el nombre de reparacions. Per tant, els estalvis seran:

Taula 2: Estalvis estimats reduint el nombre de defectes

	Reducció	Estalvi unitari (€)	Estalvi total (€)
Repetició de tests	33.400	0,8	26.720
Reparacions	15.900	7,8	124.020
TOTAL			150.740

Assolir l'objectiu suposarà, per tant, un estalvi anual de 150.740 €.

Etapa MESURAR. Obtenció de dades per diagnosticar el problema

En el test final es realitzen tot un seguit d'operacions, però els rebutjos només es produeixen en 5 d'aquestes operacions i les causes són sempre que el cabal o la depressió estan fora de toleràncies. En una de les cinc operacions només pot estar fora de toleràncies el cabal i en una altra només la depressió (Taula 3), en les altres tres ho pot estar qualsevol de les dues.

Taula 3: Operacions que poden provocar rebuig en el test final

Codi operació	Prova	Possible causa de rebuig	
15	Funcionament a velocitat = 2.000 i depressió = 1.600	Cabal	Depressió
16	Funcionament a velocitat = 1.000 i depressió = 1.200	Cabal	Depressió
17	Funcionament a velocitat = 400 i depressió = 230	Cabal	Depressió
18	Funcionament a velocitat = 50 i depressió = 230	Cabal	---
200	Connexió automàtica de la peça al banc de proves	---	Depressió

Es tenen, per tant, 8 possibles causes de rebuig però intentar atacar-les totes des de bon principi no acostuma a ser una bona estratègia. El què es va fer, doncs, va ser identificar quines eren les poques causes que provocaven la major part del problema (principi de Pareto). Per fer aquest estudi es van prendre dades durant 6 setmanes (període prou llarg per a ser representatiu del funcionament general) i a partir d'aquestes dades es van construir els diagrames de Pareto de la Figura 2. Pel que fa als defectes per cabal, l'operació amb major percentatge de rebuig era la 17. Respecte als defectes per depressió, l'operació amb més percentatge de rebuig era la 200, que suposava el 67% del rebuig total. Si tenim en compte també l'operació 17, que ha sortit la més important en el rebuig de cabal, aleshores estarem tenint en compte el 87% del rebuig total per depressió.

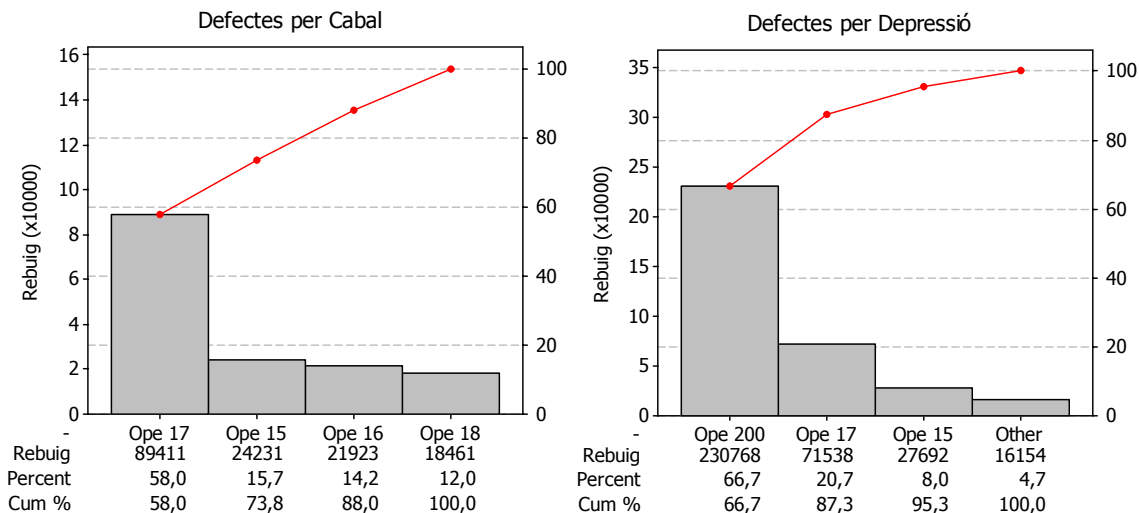


Figura 2: Diagrames de Pareto del nombre de defectes per cabal i per depressió, segons l'operació en què s'han detectat

Per tant, les operacions en les que calia centrar-se primerament eren les que provocaven un major rebuig:

- L'operació 200 comprova la connexió física que existeix entre la peça D (component del producte) i el banc de test. Si la connexió és incorrecta, el producte és rebutjat per codi 33 (depressió fora de toleràncies). Aquest error és un error físic del banc de test i no vol dir que el producte sigui defectuós. Al rebuig detectat a l'operació 200 l'anomenarem rebuig per mala connexió.
- L'operació 17 sotmet el producte a una velocitat de 400 rpm i una pressió de 230 bars. Quan s'estabilitza pren mesures del cabal i de la depressió. Les dues mesures tenen uns límits de tolerància assignats, si la mesura està dintre de límits, accepta el producte com a bo i passa el test, si la mesura de cabal o de la depressió està fora de límits es rebutja el producte.

Així doncs, se centraran les accions en tres respostes. La resposta Y_1 mesura el rebuig per mala connexió (2% de rebuig respecte a la producció total), la Y_2 el rebuig per cabal a l'operació 17 (0,78%) i la Y_3 el rebuig per depressió a l'operació 17 (0,62%). Les tres mesures juntes representen el 3,4% de rebuig respecte la producció total.

Situació de partida de la resposta Y_1 : Rebuig per mala connexió

Quan un producte entra al banc de test, el primer que fa és connectar-se automàticament. Una d'aquestes connexions es realitza a través de la peça D. Abans de començar el que seria pròpiament el test de funcionalitat del producte es comprova que aquestes connexions estiguin ben fetes. Quan la connexió entre la peça D i el banc de test no és correcta, la depressió que s'ha de crear dins aquesta peça és massa petita i, aleshores, el producte es rebutja per mala connexió. En aquest tipus de rebuig, el producte no és defectuós, i el problema es troba només en la connexió amb el banc. La peça que fa que la connexió sigui dolenta és la junta de connexió, que s'hauria de canviar teòricament cada 24 hores.

El primer pas, per tant, és veure si existeix alguna relació entre el desgast d'aquesta junta i els rebuigs per mala connexió, però no existia cap registre que permetés saber quan s'havia fet el canvi de junta. Per això, es va afegir un format al banc de test on l'operari anotava cada vegada que feia un canvi de la junta.

La Figura 3 mostra que la majoria dels rebuigs no són casos aïllats sinó que de cop es comença a rebutjar molts productes per mala connexió. Quan passa això és degut a que la junta de connexió s'ha trencat. Però, a més, aquest gràfic també ens permet veure que la causa que aquesta junta es trenqui no és el desgast, ja que trobem una crisi important de rebuig quan s'acaba de canviar la junta.

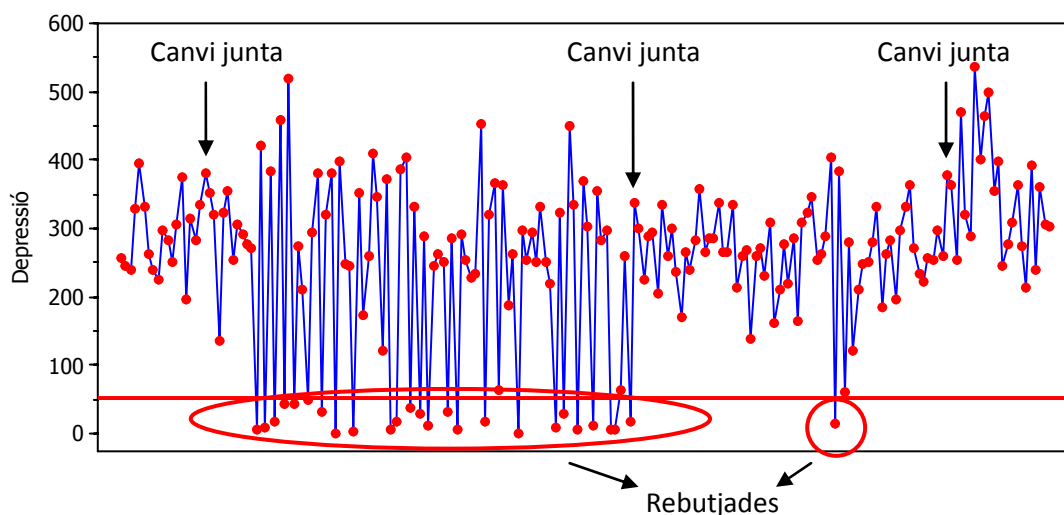


Figura 3: *Evolució de la depressió en l'operació 200 i canvi de la junta de connexió*

Per tant, la conclusió a la s'arriba és que la causa del rebuig per mala connexió és el trencament de la junta de connexió i això provoca crisis de rebuig, però el fet que

aquesta junta es trenqui no és degut al desgast. Per tant, controlar que es canviïn les juntes periòdicament no garanteix que no es produeixin crisis.

Situació de partida de la resposta Y_2 : Rebuig per cabal a l'operació 17

Calia conèixer quina és la situació dels valors del cabal en aquesta operació, per això, durant una setmana es van prendre dades per fer un estudi de capacitat.

La Figura 4 ens permet veure que la campana no està centrada dins de les toleràncies. L'índex de capacitat C_p és una comparació de la variabilitat amb la que es produeix ("amplada de la campana") amb les toleràncies del producte (com hem de produir en realitat), de manera que ens mostra la possibilitat de produir dins de toleràncies quan el procés està centrat (produeix amb mitjana en el valor que ens interessa). Pel que fa a aquest índex de capacitat, el C_p obtingut de 1,47 indica que el procés és capaç de complir amb les especificacions. Ara bé, això no ens garanteix que a la realitat estiguem produint bé, perquè pot passar que el procés estigui descentrat. Per a comprovar aquest fet, es defineix el C_{pk} . Si el procés està centrat en el valor nominal, el C_{pk} coincideix amb el C_p ; com més es desvia el valor del C_{pk} del valor del C_p , més descentrat està el procés. El C_{pk} obtingut de 0,64 s'allunya força de l'1,47 del C_p i, per tant, és un indicador de que el procés està descentrat.

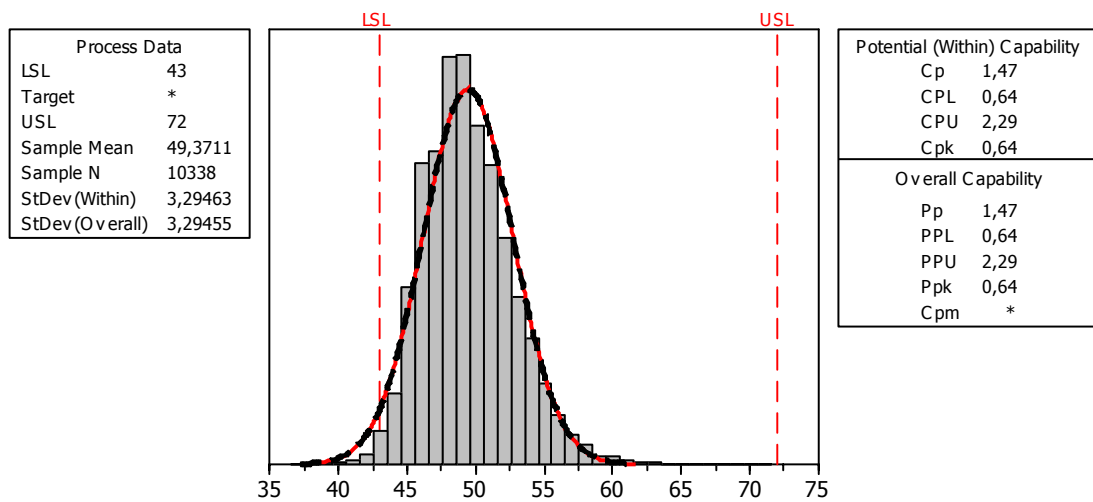


Figura 4: Estudi de capacitat pel cabal a l'operació 17

Està clar que centrant el procés reduïrem considerablement el rebuig, però això no és senzill perquè el cabal no és una característica que es pugui manipular ajustant una màquina sinó que és una conseqüència de moltes variables del producte.

Situació de partida de la resposta Y_3 : Rebuig per depressió a l'operació 17

En aquest cas només es té límit de tolerància superior i, per tant, el Cp no es pot calcular. El valor del Cpk de 0,72 ens indica que el procés està massa a prop de la tolerància superior.

La depressió tampoc és una característica que es pugui manipular mitjançant un ajust sinó que també és una conseqüència d'altres variables, concretament és una conseqüència del cabal. Aquesta relació entre el cabal i la depressió es coneix, però serà interessant verificar-la i quantificar-la.

Etapa ANALITZAR (1): Millora de la connexió al banc de test

Per solucionar definitivament els problemes de connexió al banc de test calia identificar les causes que provocaven el trencament de les juntes. Però mentre no s'identificaven aquestes causes, calia evitar que quan una junta es trenqués, el banc de test seguís funcionant i rebutjant per mala connexió fins que un operari se n'adonés. Així doncs, paral·lelament a la cerca de les causes arrel es va implantar un control estadístic del procés per identificar el més ràpidament possible l'aparició de ratxes de rebuig. La peça que feia la connexió entre la peça D i el banc de test, és la següent:

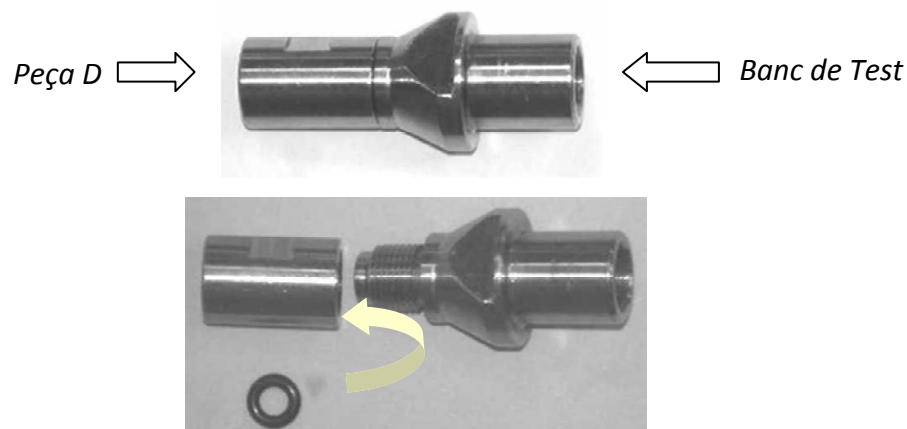


Figura 5: Peça de connexió, amb el detall de la situació de la junta

L'anàlisi detallada de les juntes de connexió va posar de manifest que les juntes que es trencaven sempre tenien el diàmetre interior de l'aro més petit. Això provocava que en entrar la peça D el material d'aquestes juntes s'hagés d'estirar més del que inicialment estava pensat i, per tant, es debilités, de manera que el moviment que fa la peça D en entrar, fregant aquest material més dèbil, provocava el trencament.

Per solucionar aquest problema s'hauria de reduir la variabilitat del diàmetre interior de forma que no es trobessin diàmetres petits, però aquestes juntes es compraven fetes a un proveïdor que no era capaç de reduir aquesta variabilitat. Per això es va realitzar un nou disseny per a la connexió entre la peça D i el banc de test. El nou disseny substituïa l'actual junta de "vitón" amb forma d'aro, per una nova peça feta de "teflón", un material molt més resistent, amb forma de con. D'aquesta manera, la peça D entrava pel costat més obert del con i lliscava per l'interior de la nova peça fins al costat més tancat del con sense haver de fer cap joc brusca, on quedava connectada.

A partir del nou disseny es van realitzar dues peces pilot i es van muntar cada una en un banc de test. Durant una setmana es van controlar aquests dos bancs. Cap dels dos bancs va rebutjar ni un producte per mala connexió de la peça D. Posteriorment, es van fer quatre peces més i es van muntar en quatre bancs, seguint amb el resultat de zero rebuigs per mala connexió. Per tant, l'acció de millora prevista per a reduir els rebuigs per mala connexió va ser canviar el sistema de connexió de la peça D en tots els bancs de test.

Etapa ANALITZAR (2): Relació entre el cabal i la depressió

La variable Y_3 , depressió, es refereix a la depressió que es crea dins del que s'ha anomenat peça D. Per crear-la s'aprofita el cabal de Y_2 , i és lògic pensar, doncs, que la depressió i el cabal estaran relacionades. Ambdues respostes estan lligades directament amb els nostres objectius.

Per estudiar la forma d'aquesta relació es van utilitzar dades corresponents a una setmana de producció, durant la qual es van produir 8.681 unitats. Amb l'ajuda del següent gràfic podem fer-nos una idea del tipus de relació que existeix.

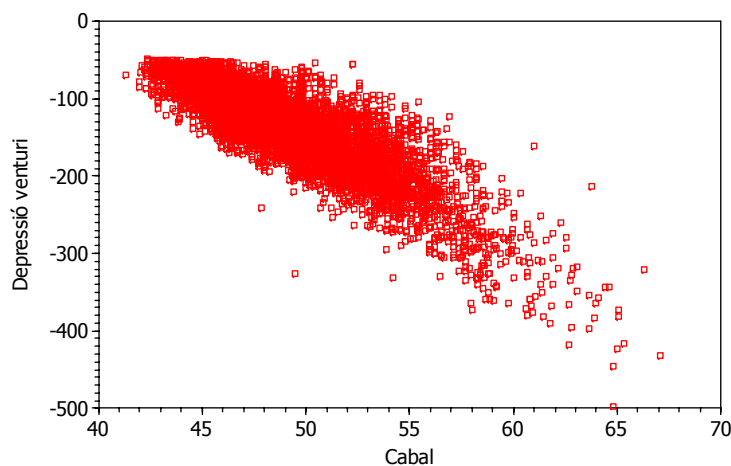


Figura 6: Relació entre Depressió i Cabal

Es veu que, efectivament, quant més cabal hi ha, més baixa és la depressió. Al gràfic ja s'intueix la presència de curvatura en el núvol de punts, és a dir, com si la relació fos quadràtica. Després d'estudiar diferents possibilitats, es va arribar a la conclusió que la millor manera d'explicar la depressió creada en la peça D a partir del cabal era mitjançant el model:

$$\text{Depressió} = -136 + 11,7 \text{ Cabal} - 0,237 \text{ Cabal}^2$$

que explica el 71,6% de la variació total de la resposta.

Etapa ANALITZAR (3): Disseny d'experiments

Ens interessa augmentar el cabal (apropant-lo tot el que es pugui al seu valor nominal de 57,5 litres/hora) i disminuir la depressió (com més petita sigui millor). Pel què s'ha pogut veure, la relació que existeix entre la depressió i el cabal ens beneficia, ja que augmentant el cabal disminueix la depressió. Ara bé, augmentar el cabal o disminuir la depressió és més complicat del què pot semblar a primer cop d'ull.

Cal identificar quines són les variables que poden tenir algun efecte sobre el cabal (i, per tant, també sobre la depressió). Amb la col·laboració dels enginyers del producte es va considerar que aquestes eren: el diàmetre del forat L, el joc entre les peces P i el joc entre les peces E.

Per veure com aquestes variables afectaven a la resposta calia fer proves, però cada prova era molt costosa ja que implicava fabricar peces fora de la producció normal, controlar el flux d'aquestes peces i muntar-les totes de manera especial a la cadena de muntatge. Calia, doncs, fer servir una estratègia d'experimentació que proporcionés la màxima informació amb el mínim número de proves. Per aquest motiu es va decidir fer servir el disseny d'experiments, més concretament es va usar un disseny factorial 2^3 . A cada factor se li van donar dos valors diferents (enforçant els valors actuals) i es van fer les proves en totes les combinacions de valors dels factors, en aquest cas 8.

Taula 4: Factors i nivells d'experimentació (valors per les proves)

Factor	Descripció	Valors (mm)		
		Actual (0)	Proves (-1) (+1)	
L	Forat de lubricació que hi ha al producte per on passa cabal	0,72	0,69	0,75
P	Distància entre dues peces que van inserides a l'interior	0,025	0,015	0,035
E	Folga entre unes peces i el forat en què van encaixades	0,003	0,002	0,005

Es van muntar 8 productes diferents i cada un es va sotmetre al test funcional que proporcionava els valors de cabal i depressió. L'ordre en què els productes van passar el test funcional es va aleatoritzar, per evitar així efectes que no som capaços de controlar. Després de realitzar els 8 experiments, els resultats obtinguts queden representats en la

Figura 7, on els vèrtexs dels cubs representen els valors de les respostes en cada condició d'experimentació. Aquestes dues representacions serveixen per fer-nos una primera idea visual de les conclusions a les que s'arribarà després d'analitzar els resultats de manera més detallada.

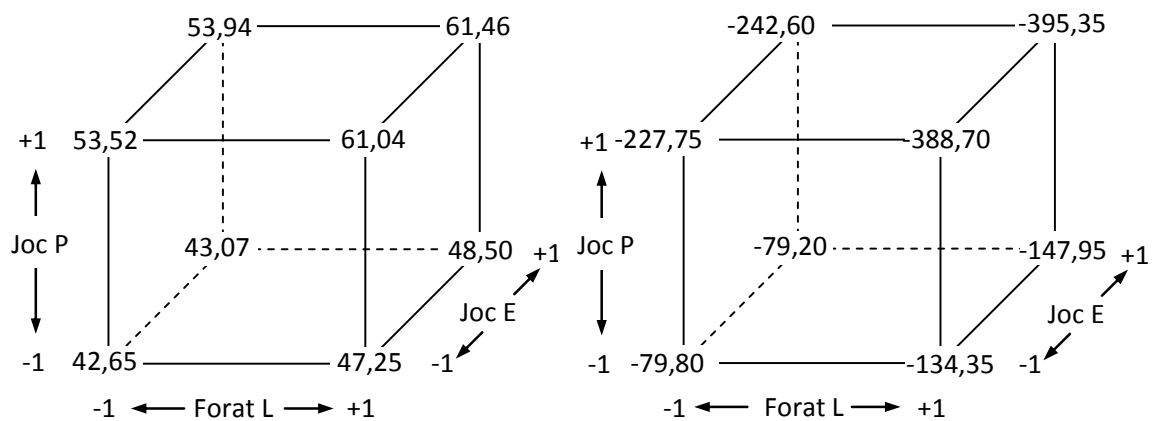


Figura 7: Representació gràfica dels resultats del cabal (esquerra) i de la depressió (dreta)

L'estudi detallat de la influència dels factors sobre la resposta (càlcul dels efectes i anàlisi de la seva significació estadística) va permetre treure les següents conclusions:

- El joc E, que d'entrada s'havia tingut en compte, no té cap efecte en les respostes analitzades (en el rang de valors que s'ha estudiat)
- El joc P i el diàmetre del forat L sí que afecten i, a més, interaccionen entre ells; és a dir, la influència d'un factor depèn del valor que pren l'altre.

Per arribar al valor objectiu del cabal (57,5 litres/hora), hem vist que interessa treballar al nivell alt (+1) del diàmetre del forat L i a un punt mig entre el valor actual (0) i el nivell alt (+1) del joc P. Respecte a la depressió (ha de ser la mínima possible), interessa treballar al nivell +1 dels dos factors. A la pràctica, modificar el joc P és força complicat, ja que implica molts canvis en el procés, mentre que canviar el diàmetre del forat L és molt més senzill perquè només suposa canviar la broca amb la qual es fa el mecanitzat d'aquest forat. Per aquest motiu es van conformar amb modificar només el diàmetre

del forat L, que, pel que hem vist al llarg de l'anàlisi convé posar-lo a nivell alt, que correspon a 0,75 mm.

Treballant al nivell +1 del diàmetre del forat L i al nivell 0 del joc P, esperarem obtenir un cabal d'uns 57,48 litres/hora i una depressió d'uns -313,6 mbars, condicions prou properes a l'objectiu.

Etapa MILLORAR

Canvi en el sistema de connexió de la peça D

Abans de començar a canviar totes les connexions es van realitzar dues peces pilot i es van muntar cada una en un banc de test diferent. Durant una setmana es van controlar aquests dos bancs i cap del dos va rebutjar cap producte per mala connexió. En introduir aquestes noves peces en quatre bancs diferents es va observar que el resultat era igual de bo que en la prova pilot. Per tant, a la vista dels resultats es va donar el disseny com a bo i es van introduir les noves peces en tots els bancs de test.

Durant les setmanes 43 a la 46 (20/10/03 al 14/11/03) es van canviar les juntes de connexió a mida que es feien. A partir de la setmana 46 (15/11/03), els 32 bancs de test tenien la nova junta de connexió instal·lada. Veure Figura 8.

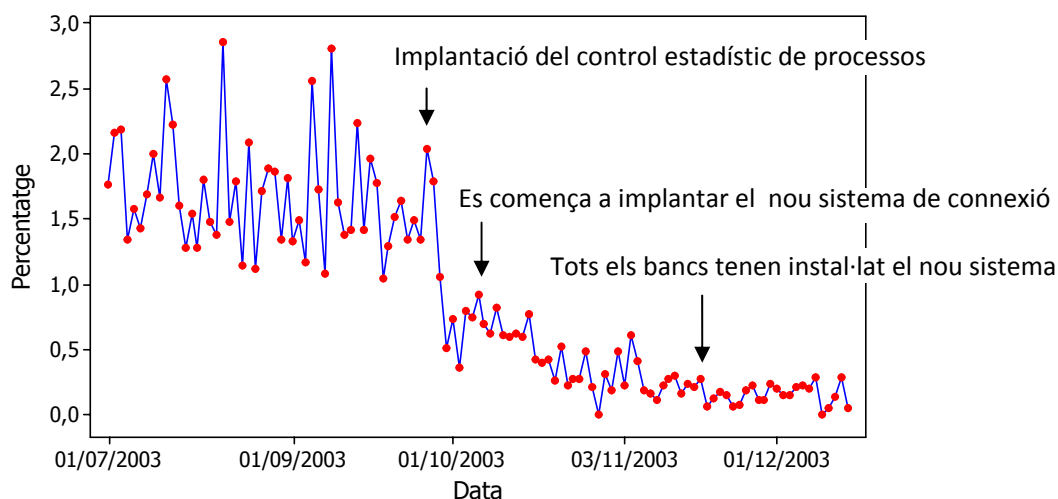


Figura 8: Evolució del rebuig per mala connexió en el període juliol-desembre de 2003

Canvi en el mecanitzat del forat L

Abans de fer el canvi de broca definitiu, es va fer un lot de productes mecanitzats amb la broca de 0,75 per comparar els resultats obtinguts amb un lot de productes fabricats

en les condicions anteriors. Un estudi de capacitat de cada lot permet veure com es distribueixen les dades entre les toleràncies amb cada diàmetre de broca (veure Taula 5).

Taula 5: *Valors del cabal i la depressió abans i després del canvi de broca*

	Abans: $\varnothing = 0,72$ mm		CANVI →	Després: $\varnothing = 0,75$ mm	
	Cabal	Depressió		Cabal	Depressió
Grandària de la mostra	52,49	-186,26		53,90	-212,10
Mitjana	3,28	51,13		2,95	52,73
Desviació tipus	2964	2964		3422	3422
Cp	1,47	--	MILLORA →	1,64	--
Cpk	0,96	0,89		1,23	1,02

Confirmats els bons resultats previstos es va decidir fer el canvi definitiu de la broca en el procés de producció ja que en aquesta nova situació es van obtenir valors semblants del Cp i el Cpk.

Objectiu assolit?

Es va passar del 4,34% de rebuig inicial a un 0,7%, que suposa una reducció del 83,8% de la producció defectuosa i, per tant, es va superar l'objectiu fixat d'arribar a l'1% (que suposava la reducció del 77% de la producció defectuosa).

Taula 6: *Resum de resultats abans i després de les millores introduïdes*

Concepte	Abans	Després
% Rebuig per mala connexió	2%	0,20%
% Rebuig cabal	1,34%	0,30%
% Rebuig Depressió	1%	0,20%
TOTAL	4,34%	0,70%

Les accions de millora van permetre assolir sobradament l'objectiu fixat. Evidentment, vam considerar els possibles efectes col·laterals: el canvi en la junta de connexió no va suposar cap alteració en el funcionament normal del banc ni en el test funcional, i el canvi en el diàmetre del forat L tampoc va suposar cap inconvenient per al correcte funcionament del producte ni va fer augmentar cap altre tipus de rebuig.

Etapa CONTROLAR

Arribats a aquest punt, tan important com tot el què s'havia fet fins el moment era assegurar que el procés no feia cap pas enrere. Així doncs, calia tenir controlats els percentatges de rebuig, de manera que, en el cas que algun d'ells incrementés, es pogués detectar ràpidament i actuar en conseqüència.

Per fer-ho, es va crear un programa que agafava les dades directament dels bancs de proves, on quedaven emmagatzemats els resultats del test funcional. Aquesta informació s'actualitza cada 5 minuts, que vol dir pràcticament a cada test, ja que aquest té una duració mitjana de 4 minuts.

El programa té implantats uns límits de control i dóna senyals d'alarma si els resultats que s'obtenen fan sospitar que el procés pot estar fora de control. També permet que, des de qualsevol ordinador i a qualsevol hora del dia, les persones interessades puguin consultar l'estat d'un rebuig determinat i veure si s'allunyen del valor objectiu assolit.

(Projecte de la Llicenciatura d'Estadística, presentat el febrer de 2004 amb el títol "Reducció del rebuig obtingut en el test de final de línia d'un procés industrial mitjançant la metodologia Sis Sigma de resolució de problemes")

Els experts coincideixen en què la millora contínua basada en la selecció de projectes concrets, el seguiment d'una metodologia ordenada, el suport de la direcció (temps, recursos, atenció,...) i la presa de decisions basada en dades (convenientment obtingudes i analitzades; és a dir, fent servir l'estadística) són un element clau per mantenir la competitivitat. Però des del punt de vista del responsable del projecte, sent l'estadística una eina fonamental, no és l'única que cal saber aplicar; constància, habilitats de comunicació i de lideratge o capacitat de treball en equip són també fonamentals per aconseguir els objectius.



Mar Costa va estudiar la Diplomatura i la Llicenciatura d'Estadística a la UPC. Posteriorment va completar la seva formació amb un curs de postgrau sobre Programes de Millora Sis Sigma a la Fundació UPC, dos cursos sobre metodologia Shainin de resolució de problemes i un en Enginyeria de Qualitat. Des que va acabar els estudis la seva activitat professional ha estat vinculada a empreses industrials, especialment en temes relacionats amb el control i la millora de la qualitat. Actualment treballa en el departament de qualitat d'una important empresa del sector de l'automoció, com a responsable de projectes de millora continua Sis Sigma i Shainin.

**Nous medicaments i millora
del sistema sanitari**

10

Anàlisi de l'eficàcia d'un nou fàrmac contra la SIDA

Projecte realitzat per: **Raquel López Blázquez**
Dirigit per: **Guadalupe Gómez Melis i Núria Porta Bleda**

La SIDA és una malaltia relativament nova. Es va començar a diagnosticar l'any 1981 però ràpidament es va convertir en una de les més temudes i de les que ha causat més morts, especialment a l'Àfrica subsahariana. En els països del nostre entorn s'ha aconseguit establir i, fins i tot, reduir la seva propagació amb mesures de prevenció com el sexe segur o les xeringues d'un sol ús. Però cal anar amb compte perquè qualsevol relaxació provoca immediatament un repunt del nombre d'infectats.

Per altra banda, s'està fent una intensa recerca per tal d'obtenir tractaments que millorin l'esperança i la qualitat de vida de les persones infectades. Aquesta recerca ha donat resultats molt importants i avui en dia les persones diagnosticades a temps poden dur una vida pràcticament normal.

Al nostre país un dels centres més actius en la recerca contra aquesta malaltia és la "Fundació per la Lluita contra la SIDA" (www.fl sida.org). En el marc dels seus programes de recerca es va realitzar aquest projecte, que té com a objectiu avaluar l'evolució de la càrrega viral de pacients infectats en afegir al tractament convencional un "nou" fàrmac: l'Enfurvitide. S'ha demostrat que aquest fàrmac és eficient a l'hora de reduir ràpidament la càrrega viral en pacients tractats amb antirretrovirals. En aquest projecte es va estudiar la seva efectivitat en pacients que encara no s'havien medicat mai amb antirretrovirals.

Context: el virus i la malaltia de la SIDA

La malaltia de la SIDA és causada pel Virus de la Immunodeficiència Humana (VIH), que és del tipus lentivirus, cosa que significa que pot romandre molt de temps en estat latent i, per tant, pot passar un llarg interval de temps des que es produeix la infecció fins que es presenten símptomes seriosos. El VIH destrueix les cèl·lules immunològiques anomenades CD4 i això pot provocar que diverses infeccions i càncers entrin al cos sense defensa. A aquest tipus d'infeccions i càncers se les anomena malalties o infeccions oportunistes.

La càrrega viral -quantitat de virus existent- funciona com a indicador de l'avanç i pronòstic de la malaltia, mentre que la quantitat de cèl·lules CD4 és un indicador de quant "mal" ha causat ja el VIH.

La variabilitat en la celeritat de la progressió de la infecció pel VIH s'ha explicat en diverses ocasions fent al·lusió a la metàfora d'un tren. En aquesta, la infecció VIH és el propi tren, la càrrega viral és la velocitat que porta el tren i la longitud dels rails que formen el trajecte són els limfòcits CD4 que té el pacient. L'estació final, cap a la que el tren avança, és el desenvolupament de la SIDA, però necessitarà un temps per a recórrer el trajecte. Aquest temps dependrà de la quantitat de virus (velocitat) i, per tant, com més baixa sigui més temps trigarà en recórrer el trajecte; si la càrrega viral és indetectable la velocitat del tren serà pràcticament nul·la però el tren no es para mai del tot, pel què fins avui es coneix, com si existís un lleuger pendent cap avall i, en conseqüència, no s'arriba a frenar.

Quan la càrrega viral sigui constant, el temps dependrà de la distància que s'hagi de recórrer. Si el sistema immunitari és estable, el trajecte serà molt llarg i li costarà més temps arribar al destí; pel contrari, conforme la xifra de CD4 caigui, el recorregut serà menor i, a igual velocitat, el temps empleat en recorre'l serà menor.

El VIH està present en tots els fluids de la persona infectada, tant interns com externs, però solament alguns d'ells tenen capacitat d'infecció. La infecció només es pot produir quan una quantitat suficient de virus que es troba a la sang, el semen, les secrecions vaginals i la llet materna de les persones afectades penetra a la sang mitjançant ferides, punxades, lesions a la pell, a la mucosa vaginal, a la mucosa anal o a la mucosa bucal. El virus VIH sobreviu poc temps fora de l'organisme, per això ha de penetrar al torrent sanguini de la persona exposada. A més, aquesta transmissió necessita una quantitat mínima per provocar la infecció. Per sota d'aquest lliardar l'organisme aconseguix alliberar-se del virus i impedeix que s'hi instal·li.

El VIH és un virus de forma esfèrica, d'uns 80-100 nm de diàmetre. La informació genètica està composta per dues cadenes d'ARN (àcid ribonucleic, les sigles en anglès són RNA) que contenen els diferents gens que permeten produir les proteïnes virals.

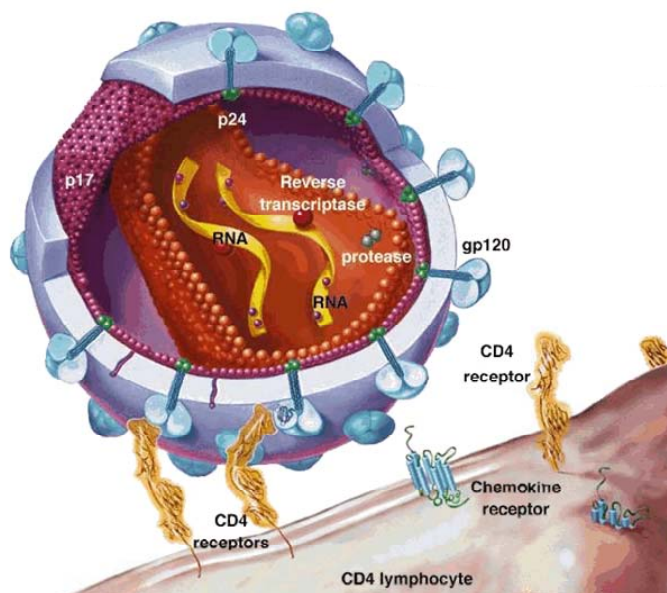


Figura 1: Estructura del VIH

La intensa recerca en el terreny del VIH ens ha dotat d'una bona col·lecció de fàrmacs que són capaços de bloquejar el cicle vital del virus. El més habitual és utilitzar una combinació de tres fàrmacs que es coneix com a tractament HAART (que són les sigles en anglès de Teràpia Antirretroviral Altament Activa). Quan un pacient no ha iniciat cap tractament antirretroviral es diu que és *naïve*.

L'Enfurvitide és un fàrmac que bloqueja l'entrada dels virus a les cèl·lules hoste; és a dir, és un inhibidor de la fusió o, en termes més amplis, de l'entrada. Aquest fàrmac s'uneix a una proteïna de la superfície del VIH anomenada GP41. Un cop ho fa, pot adherir-se a la superfície de les cèl·lules CD4 evitant que el virus infecti les cèl·lules sanes.

S'ha demostrat que l'Enfurvitide té una gran potència antirretroviral i una bona tolerància per part dels pacients. Estudis ja realitzats han mostrat que afegir l'Enfurvitide al tractament òptim (HAART) de pacients molt tractats amb antirretrovirals fa baixar la seva càrrega viral molt ràpidament. Malgrat tot, aquesta trobada pot no ser extrapolable a pacients naïves.

Objectiu del projecte

Aquest projecte parteix de les dades i d'un estudi previ¹ que es va fer per valorar si l'Enfurvitide augmentava l'activitat antiviral d'una combinació de quatre antirretrovirals (ARV) en pacients ARV-naïves i infectats pel VIH.

En aquest primer estudi es van estimar les taxes individuals de decreixement de les càrregues virals durant la primera fase, del dia 1 al dia 6, a partir de:

- CV_t : càrrega viral a l'instant t de temps
- CV_0 : càrrega viral al moment inicial
- k : constant que fa referència a la taxa de decreixement

mitjançant la següent expressió:

$$CV_t = CV_0 \cdot e^{-kt}$$

L'estudi plantejava comparar la taxa de decreixement k entre el grup dels que havien pres l'Enfurvitide i el grup dels que no. La metodologia utilitzada en aquest primer estudi no tenia en compte la dependència entre les diferents mesures d'un mateix pacient.

Aquest projecte pretén millorar l'anàlisi i, amb aquest objectiu, s'ha aplicat una nova metodologia (models d'efectes mixtes) adequada pel tipus de dades que es tenen: la mateixa informació (la càrrega viral) per a cadascun dels individus recollida en diferents instants al llarg d'un cert període de temps. A més, es tenen recopilades dades complementàries, les quals s'incorporaran als models per tal d'explicar la dinàmica viral d'una manera més acurada.

Disseny de l'estudi i recollida de dades

Les dades que s'han utilitzat en aquest projecte pertanyen a un estudi pilot, obert, prospectiu (es dissenya i realitza al present, però les dades s'analitzen quan ha transcorregut un determinat temps, al futur) i aleatoritzat realitzat a la Fundació Lluita contra la Sida de l'Hospital Universitari Germans Trias i Pujol.

¹ J. Moltó et al. (2006): "Increased antiretroviral potency by the addition of enfurvitide to a four-drug regimen in antiretroviral naive, HIV-infected patients". *Antiviral Therapy*; **11**: 47-51

Es va establir que els pacients inclosos a l'estudi havien de satisfer els següents criteris (criteris d'inclusió):

- Tenir més de 18 anys amb test VIH+,
- Tenir una càrrega viral al voltant de 10.000 còpies/ml,
- Recompte de cèl·lules CD4 al voltant de 100 cèl·lules/mm³,
- Capacitat de seguir el període del tractament,
- En cas de ser dona, no ser potencialment fèrtil (definit com post menopàusica almenys des de fa 1 any o esterilitzada quirúrgicament) o haver-se compromès a utilitzar un mètode anticonceptiu de barrera durant l'estudi,
- Haver acceptat i signat un informe de consentiment.

D'altra banda, per poder entrar a l'estudi, no havien de tenir cap de les següents característiques (criteris d'exclusió):

- Exposició a algun tractament antirretroviral previ,
- Al·lèrgies conegudes a algun dels fàrmacs dels grups de tractament o similars,
- Sospita de la no-adherència al tractament,
- Increment del AST/ALT (relació dels valors de dos tipus de transaminases) més de 5 cops el límit superior de normalitat,
- Ser dona i estar embarassada o en període de lactància,
- Presència d'infeccions oportunistes o tumors en els tres mesos anteriors a la inclusió.

Després de ser inclosos a l'estudi, els pacients eren assignats aleatòriament a un dels dos grups: grup de control (tractament habitual) i grup enfurvitide (possible millora).

Taula 1: Medicaments presos pel grup tractat i el grup de control

Grup	Medicament	Posologia
CONTROL	Lamivudine (Epivir®)	1 pastilla (300mg) / 24h
	Tenofovir (Viread®)	1 pastilla (300mg) / 24h
	Efavirenz (Sustiva®)	1 pastilla (600mg) / 24h
	Lopinavir/ritonavir (Kaletra®)	4 pastilles (533/133mg) / 12h (4 primeres setmanes)
ENFURVITIDE	Lamivudine (Epivir®)	1 pastilla (300mg) / 24h
	Tenofovir (Viread®)	1 pastilla (300mg) / 24h
	Efavirenz (Sustiva®)	1 pastilla (600mg) / 24h
	Lopinavir/ritonavir (Kaletra®)	4 pastilles (533/133mg) / 12h (4 primeres setmanes)
	Enfurvitide T-20 (Fuzeon®)	90mg / 12h, subcutani (4 primeres setmanes)

Com es pot veure al llistat de fàrmacs (Taula 1), a la setmana 4 es va realitzar una simplificació del tractament, igual per a tots dos grups. Per aquest motiu, les dades que s'han tingut en compte per les successives anàlisis són fins aquest canvi de tractament (els 30 primers dies). Les observacions que es tenen de temps posteriors no aporten informació addicional, ja que passat aquest període tots els pacients passen a seguir el mateix tractament.

L'assignació dels pacients a un grup o l'altre (control o Enfurvitide) es va fer aleatòriament, de manera que es pot assumir que els individus d'ambdós grups tenen característiques similars. Si no s'hagués fet d'aquesta manera (per exemple, si s'haguessin assignat els més joves a un grup) i es detectessin diferències entre grups, mai podríem estar segurs de si aquestes diferències són degudes al tractament que estem provant o a les diferents característiques dels pacients de cada grup. Aleatoritzant l'assignació de pacients, si els resultats són diferents, aquesta diferència només es pot atribuir a la incorporació del nou fàrmac, ja que totes les altres variables que poden influir ho fan de la mateixa forma.

La resposta analitzada és la càrrega viral dels dos grups, i s'avaluarà en diferents instants de temps.

Descripció de la mostra

La recollida de dades ha tingut una duració de 2 anys, comprnent el període entre el 29 de setembre de 2003 i el 7 de març de 2005. A l'estudi hi ha participat un total de 15 pacients als quals se'ls ha fet un seguiment de 4,28 setmanes en mediana. Al grup control han quedat inclosos 7 individus i al grup Enfurvitide 8 individus. El nombre de participants és reduït ja que, com ja s'ha comentat, es tracta d'un estudi pilot.

S'han recollit les següents variables socio-demogràfiques i clíniques en el moment basal (temps zero): sexe (Home/Dona), coinfecció amb virus hepatitis C (Sí/No), recompte cèl·lules CD4 (cels/mm³), càrrega viral (còpies/ml), edat (anys) i temps des de la infecció per VIH (mesos).

Realitzant els tests corresponents es desprèn que no hi ha diferències estadísticament significatives entre els grups en estudi pel que queda validada la seva homogeneïtat a nivell basal. És a dir, podem suposar que la tipologia d'individus és similar respecte les característiques socio-demogràfiques i clíniques en el moment basal en els dos grups o que les característiques mesurades dels individus dels dos grups són les mateixes. Tot i això, si l'aleatorització ha estat realitzada correctament, aquesta homogeneïtat ja ha de quedar garantida.

Anàlisi descriptiva de la dinàmica viral

El perfil que descriu la dinàmica viral, o la seva farmacodinàmica, acostuma a tenir una primera fase de creixement; és a dir, un període de temps en el qual el tractament encara no ha fet el seu efecte i la càrrega viral segueix incrementant-se. Tot seguit, aproximadament un dia després de l'inici del tractament, comença una primera fase de decreixement molt ràpida que dura més o menys una setmana. Finalment, hi ha una segona fase de decaïment bastant més lenta fins que s'arriba a una càrrega viral indetectable (per sota de les 50 còpies per ml). Això ho podem reflectir, d'una manera lineal i molt simplificada, en el següent diagrama (Figura 2):

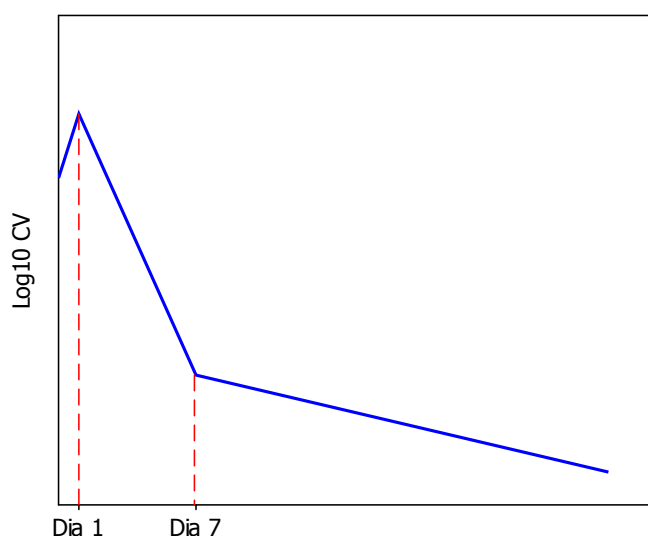


Figura 2: Esquema de la dinàmica viral

Tanmateix, la dinàmica viral ha estat modelada en altres ocasions mitjançant un model biexponencial amb dues fases de decreixement, tal i com s'expressa amb la funció:

$$Ae^{-Bt} + Ce^{-Dt}$$

Les mesures de la càrrega viral de cada un dels pacients s'han realitzat segons el següent patró: del dia 0 al 3 s'han pres mesures cada 6 hores, del dia 4 al 7 cada 24 hores, i a partir del dia 8 s'ha pres una mesura diària els dies 9, 12, 16, 19, 23, 26 i 30.

A continuació es mostra un gràfic amb els perfils de cada un dels individus separats per grups de tractament (Figura 3), entenent com a perfils l'evolució del logaritme en base 10 de la càrrega viral per a cada instant de temps en què s'ha fet una anàlisi per tal de mesurar-la.

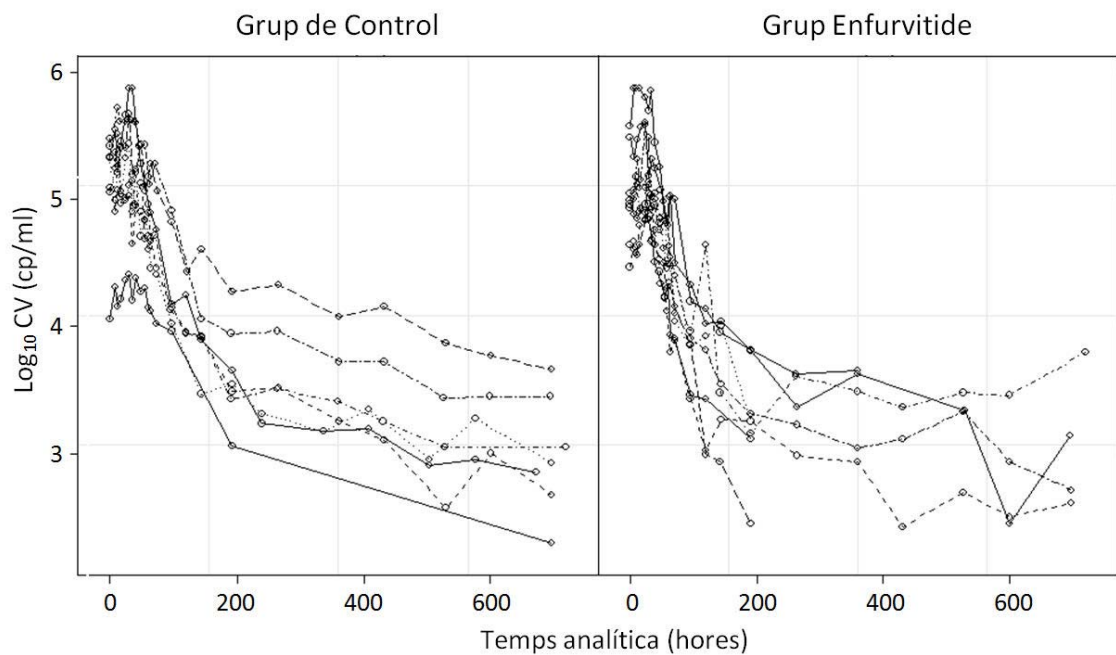


Figura 3: Perfil de la dinàmica viral per grups i per pacients

A la vista dels gràfics dels perfils dels pacients (Figura 3) podem veure que més o menys se segueix el patró esmentat: una pujada inicial seguida d'un descens ràpid i, finalment, un decreixement més lent. Per això els models que ajustarem seguiran aquesta forma.

Mètodes

Dades longitudinals i mesures repetides

Sovint ens trobem amb estudis que recullen una mateixa informació sobre la mateixa unitat o individu, tenint-se mesures repetides de la variable resposta. Si, a més, aquest recull de dades es realitza al llarg d'un cert període de temps les dades estaran ordenades temporalment, és el que s'anomenen dades longitudinals. El fet de tenir una mateixa mesura recollida diverses vegades durant un cert espai temporal per a cada una de les unitats d'observació (pacients, en el nostre cas) fa que aquestes estiguin correlacionades entre elles, i no es pot usar la teoria clàssica dels models de regressió. Cal pensar, doncs, en models específics com els que es fan servir en aquest estudi.

Model Biexponencial

El model biexponencial és un cas particular de model no lineal i és apropiat per captar la forma de la dinàmica viral. L'equació per a la resposta Y_{ij} de l'individu i -èssim a l'instant de temps t_j ve donada per:

$$Y_{ij} = \phi_{1i} \exp[-\exp(\phi_{2i})t_j] + \phi_{3i} \exp[-\exp(\phi_{4i})t_j] + \varepsilon_{ij}$$

Aquest model, en ser el model biològic que descriu el descens en la càrrega viral, és fàcilment interpretable en termes clínics. Així doncs, ϕ_{2i} i ϕ_{4i} són les taxes de descens de la càrrega viral en la primera i segona fase de decreixement. D'altra banda, $\phi_{1i} + \phi_{3i}$ representa la càrrega viral a l'instant de temps zero. Intuïtivament es pot veure que ϕ_{1i} representaria l'intercept, o punt de partida, de la primera exponencial i ϕ_{3i} el de la segona. ε_{ij} representa la variabilitat aleatòria que no es pot modelitzar.

Modelització

Aplicant les tècniques estadístiques adients i utilitzant les dades a partir del moment en què la càrrega viral és màxima en cada un dels pacients, s'arriba al següent model (es tracta d'un model anomenat "d'efectes mixtes"):

$$\log_{10}CV_{ij} = \log_{10}\{(\exp(\beta_{10} + \beta_{11}Grup_{ENF} + \beta_{12}CV_{basal} + \beta_{13}Edat) \cdot \exp[-\exp(\beta_{20} + \beta_{21}Grup_{ENF} + \beta_{22}CD4_{basal} + \beta_{23}Edat)t_j] + \exp(\beta_{30} + \beta_{31}Sexe_{dona} + \beta_{32}CD4_{basal}) \cdot \exp[-\exp(\beta_{40} + \beta_{41}Temps_{inf})t_j])\} + \varepsilon_{ij}$$

En aquest model tenim els paràmetres (les *betes*, β) i les variables que s'ha comprovat que tenen influència sobre la resposta. Els valors estimats pels paràmetres es troben a la Taula 2 i la descripció de les variables estan a la

Taula 3.

Taula 2: Valors estimats pels paràmetres del model escollit

Paràmetre	Estimació	Paràmetre	Estimació	Paràmetre	Estimació
β_{10}	8,170	β_{20}	-4,167	β_{30}	9,022
β_{11}	0,649	β_{21}	0,361	β_{31}	1,215
β_{12}	0,0000035	β_{22}	0,000316	β_{32}	-0,00186
β_{13}	0,112	β_{23}	0,0175	β_{40}	-6,245
				β_{41}	0,00388

Taula 3: Variables que entren en el model

Variable	Descripció	Valors
$Grup_{ENF}$	Grup assignat	control=0; Enfurvitide=1
CV_{basal}	Càrrega Viral inicial	còpies/ml
$Edat$	Edat	anys
$Sexe_{dona}$	Sexe	home=0; dona=1
$Temps_{inf}$	Temps d'infecció	mesos
t_j	Temps en tractament	hores

Si es representa una corba per a cada grup, amb els següents valors de les variables: homes amb uns CD4 basals de 401,57 (cels/mm³), una CV basal de 158.489,32 (còpies/ml), de 37 anys i amb un temps d'infecció per VIH de 30 mesos (valors mitjans del grup control), s'obté el gràfic de la Figura 4 on podem veure que el grup que pren l'Enfurvitide té un decreixement de la càrrega viral en la primera fase més ràpid que el grup control.

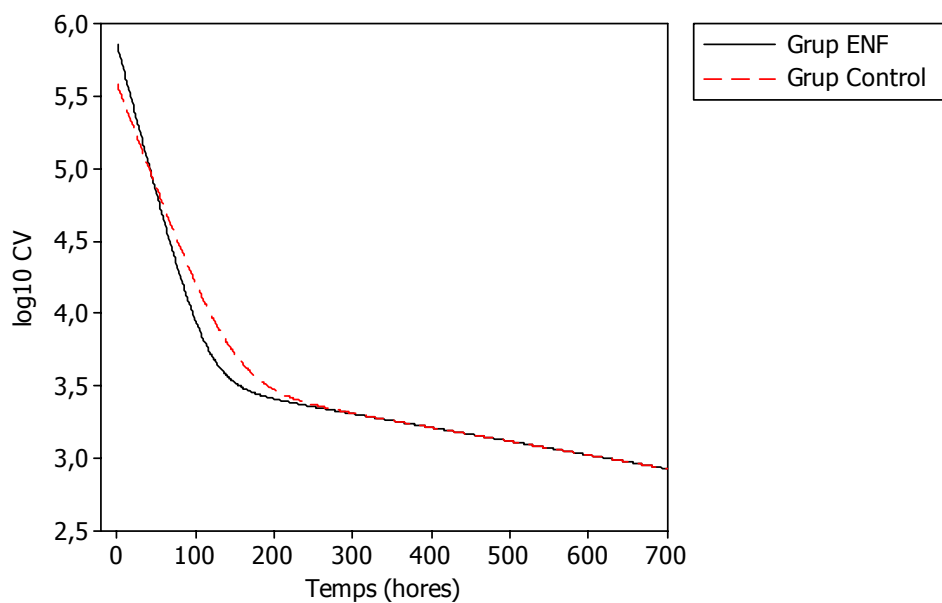


Figura 4: Gràfic de la previsió de la dinàmica viral del grup control (línia discontinua) i del grup ENF (línia contínua)

Conclusions

L'objectiu principal era veure si l'Enfurvitide augmentava l'efectivitat d'un tractament antirretroviral format per quatre fàrmacs en pacients que mai han seguit aquest tipus de tractament. A més, en disposar de característiques dels pacients a nivell basal, s'ha volgut veure quines d'aquestes característiques aportaven informació sobre el descens de la càrrega viral.

Amb el model construït s'ha comprovat que el grup de pacients que han pres Enfurvitide mostren un decreixement de la càrrega viral a la primera fase més ràpid que el grup control. En aquest model, a part del tractament, s'ha vist que en aquesta primera fase influeixen el CD4 basal i l'edat de l'individu en el moment de la inclusió. Així doncs, com més alt es tingui el recompte de cèl·lules CD4 basal o com major sigui el pacient, més ràpid serà el descens de la càrrega viral. La segona fase de decreixement només es veu afectada pel temps des de la infecció per VIH, en el sentit que com més temps faci de la infecció, més ràpid és el descens de la càrrega viral.

(Projecte de la Llicenciatura d'Estadística, presentat el desembre de 2006 amb el títol "Models no-lineals d'efectes mixtes per estudiar la dinàmica viral de pacients infectats pel VIH")

Aquest projecte es va realitzar en el marc d'un conveni de col·laboració que la Fundació Lluita contra la SIDA i la UPC van signar l'any 2002. Un equip de la UPC, dirigit per la professora Guadalupe Gómez, dona suport en les tècniques estadístiques de recollida i anàlisi de dades en la recerca clínica que s'està duent a terme en la lluita contra la SIDA. Com a part d'aquests treballs, un becari, normalment estudiant dels últims cursos, realitza les seves pràctiques a l'hospital de Can Ruti, a Badalona, integrat en equips de metges, psicòlegs i d'altres professionals aportant els seus coneixements d'anàlisi de dades per la presa de decisions.



Raquel López Blázquez va estudiar la Diplomatura d'Estadística i també la Llicenciatura en Ciències i Tècniques Estadístiques a la UPC. Va ser una alumna brillant que va obtenir el Premi extraordinari final de carrera concedit pel Ministeri d'Educació i Ciència. A la foto, la ministra Sra. María Jesús San Segundo (Desembre 2005) lliurant-li el premi.

Va fer el projecte final de carrera de la Llicenciatura com a becària de la Fundació Lluita contra la SIDA i actualment treballa en equips interdisciplinaris fent recerca en l'àmbit de la medicina a l'Institut Guttmann de Barcelona.

11

Comportament de la demanda d'urgències hospitalàries i factors meteorològics associats

Projecte realitzat per: **Jordi Real Gatius**
Dirigit per: **Josep Anton Sánchez Espigares i Aureli Tobías Garcés**

La demanda dels serveis d'urgències ha anat augmentant en els últims anys. Els factors que sovint es citen com a causa d'aquest augment són el creixement de la població, el canvi en l'actitud dels usuaris (que cada vegada utilitzen més aquest servei) i l'envelliment de la població.

Per altra banda, l'augment de recursos no sempre ha anat en paral·lel a l'augment de la demanda, de forma que en molt casos ha disminuït la qualitat assistencial, s'han patit dificultats organitzatives i en algunes situacions fins i tot s'ha arribat al col·lapse. Se sap que la demanda dels serveis d'urgències fluctua amb el temps (depèn de l'hora del dia, del dia de la setmana, de l'època de l'any...) i que algunes patologies poden estar relacionades amb factors climatològics o ambientals.

Un bon coneixement dels patrons de comportament de la demanda i de les variables que hi poden estar relacionades pot ajudar a preveure el nombre de visites i planificar millor els serveis, optimitzant l'ús dels recursos disponibles i donant una millor qualitat assistencial. Aquest projecte tracta sobre aquesta problemàtica a la zona d'influència de l'hospital de Sabadell.

Àmbit de l'estudi. Objectius

Aquest projecte estudia l'evolució del nombre de persones ateses pel servei d'urgències de l'Hospital de Sabadell durant el període 1998-2004. L'Hospital de Sabadell pertany a la Corporació Sanitària Parc Taulí¹ i la seva àrea d'influència comprèn 12 municipis ubicats a la comarca del Vallès Occidental (Figura 1).

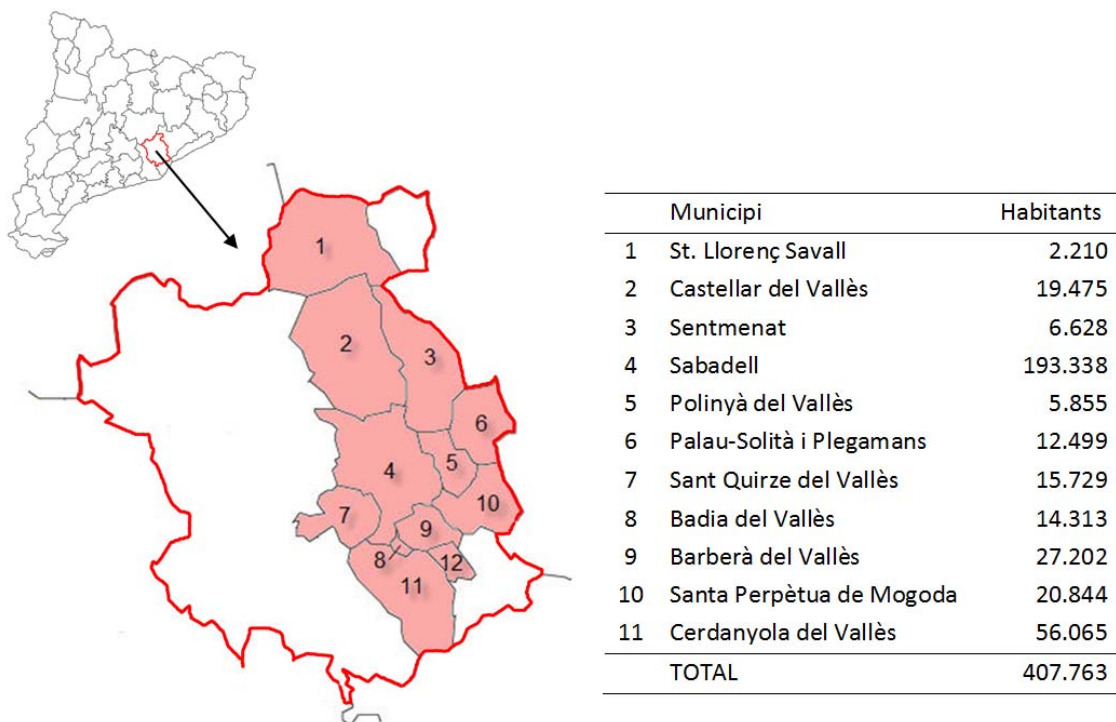


Figura 1: Àrea sanitària de referència de l'Hospital de Sabadell

Els tres objectius que es plantegen són:

1. Descriure el volum de visites al Servei d'Urgències Hospitalàries (SUH) durant el període d'estudi i les característiques dels pacients que s'han atès, quant a diagnòstic, edat, sexe i nombre de vegades que hi han acudit.
2. Estudiar l'evolució de la demanda al llarg del temps, estratificant per segments d'edat i per patologia associada. Es vol identificar, en cas que existeixin, els patrons de comportament estacional (diaris, setmanals...) i la tendència general que mostra cada un dels estrats estudiats.

¹ www.tauli.cat

3. Descriure les sèries de les variables meteorològiques i l'evolució demogràfica de la població de referència. A partir d'aquestes sèries es vol determinar l'existència d'associació entre les sèries meteorològiques i el número de visites, segons quin sigui el grup d'edat (65 anys o més i menors de 65) i el tipus de diagnòstic (patologies de tipus circulatori, de tipus respiratori i d'altres).

Les dades

Registres del Servei d'Urgències de l'Hospital

El Servei d'Urgències de l'Hospital de Sabadell manté un registre dels ingressos hospitalaris que és alimentat diàriament des de 1995. A partir de l'any 1998 es va implantar un sistema de codificacions i de suport al personal administratiu per l'entrada de codis al sistema informàtic, amb control de qualitat de la informació entrada, que fa que aquestes dades es puguin considerar prou fiables a partir de l'any 1998, període a partir del qual es realitza aquest estudi. Les variables considerades han estat:

- Nombre total de visites al SUH
- Nombre de visites de pacients de 65 anys o majors
- Nombre total de visites amb diagnòstic de tipus circulatori
- Nombre de visites amb diagnòstic de tipus circulatori i pacients de 65 anys o més
- Nombre total de visites amb diagnòstic de tipus respiratori
- Nombre de visites amb diagnòstic de tipus respiratori i pacients de 65 anys o més

Dades meteorològiques

Es disposa d'un registre diari de les variables meteorològiques. Les variables considerades són: temperatura mitjana, humitat relativa mitjana, temperatura de xafogor mitjana, pressió atmosfèrica mitjana, velocitat mitjana del vent, radiació solar acumulada i precipitació (variable dicotòmica). La font d'aquestes dades és el Servei de Meteorologia de Catalunya (MeteoCat), que té tres estacions properes a l'hospital: Sabadell, Vacarisses i Vallirana. Es van considerar com a valors principals de referència els de l'estació de Sabadell per ser la més propera al municipi més gran de tot el territori cobert per l'Hospital.

Alguns dies, en concret 206 dies (un 8%), presentaven valors no observats per l'estació de Sabadell pel que fa a la temperatura, la humitat, la pressió atmosfèrica, el vent i la precipitació acumulada, normalment causats per errades del sistema o apagades d'electricitat. Es van observar altes correlacions positives (coeficients de correlació de Pearson $> 0,95$) entre les mateixes observacions registrades en una estació i una altra amb un lleuger desfasament. És a dir, les dades de l'estació de Sabadell respecte les altres eren força semblants. Així, les dues estacions restants (Vallirana i Vacarisses), van servir per a l'assignació dels valors perduts a l'estació de referència (Sabadell). La imputació de dades no observades es va fer mitjançant models de regressió lineal basats en els valors de les altres estacions meteorològiques amb dades vàlides per aquell dia.

Dades demogràfiques

Com a variables demogràfiques referents a la població de referència es va considerar la informació relativa a la demografia dels municipis on té cobertura l'Hospital, partint de les estimacions intercensals anuals de la piràmide d'edat de tots els municipis de Catalunya que calcula l'Institut d'Estadística de Catalunya (IDESCAT).

Dades epidemiològiques

Per cada dia es coneix si s'havia declarat un brot en l'àrea coberta i si va ser declarat com epidèmia de grip. Aquestes dades provenen del Departament de Salut de la Generalitat de Catalunya que publica el Butlletí Epidemiològic de Catalunya on es fa un recull d'informació sistemàtica sobre les Malalties de Declaració Obligatoria, brots epidèmics i notificació microbiològica, amb les dates corresponents i la localització dels casos.

Tota aquesta informació (registres de l'hospital, dades meteorològiques, demogràfiques i epidemiològiques) es van incorporar en una sola base de dades que ha estat detalladament analitzada. Cada registre correspon a un dia i com que el període d'estudi és de 7 anys (des de l'1 de gener de 1998 fins el 31 de desembre de 2004) s'han recollit 2.557 registres, tants com dies té el període.

Descripció de la demanda

Durant el període estudiat, el Servei d'Urgències de l'Hospital de Sabadell ha atès 1.305.423 visites de 763.459 pacients diferents.

Un 65% dels pacients han anat una sola vegada al SUH i la resta (35%) han acudit dues o més vegades (Taula 1). El grup d'edat que més ha repetit visita són els menors de 5

anys (un 56% han repetit visita) amb una mitjana de 2,5 vegades enfront el grup d'edat adulta, amb una mitjana de 1,6 vegades.

Taula 1: *Freqüències i percentatges del nombre de visites per pacient*

Pacients que han estat atesos ...	Nombre total de visites que representa	Percentatge
1 vegada	496.868	65,1 %
2 vegades	147.468	19,3 %
3 o més vegades	119.123	15,6 %
Total	763.459	100 %

Taula 2: *Freqüències (n) i percentatges (sobre el total del grup d'edat) del nombre de visites per pacient i grup d'edat*

Grup d'edat (anys)	1 vegada		2 vegades		3 o més		Total
	n	%	n	%	n	%	
≤ 5	41.816	43,5	21.915	22,8	32.454	33,7	96.185
6-14	51.479	64,8	16.874	21,2	11.139	14,0	79.492
15-64	327.891	70,2	83.679	17,9	55.512	11,9	467.082
65-74	37.792	66,1	11.204	19,6	8.210	14,4	57.206
≥75	37.890	59,7	13.796	21,7	11.808	18,6	63.494
Total	496.868	65,1	147.468	19,3	119.123	15,6	763.459

El 98% de les visites rebudes durant aquests 7 anys ha estat d'origen nacional, mentre que el 2% ha estat de procedència estrangera. Aquest percentatge de visites d'origen estranger s'ha anat incrementant al llarg dels anys, especialment en els últims, passant d'un 0,11% l'any 1998 fins el 5% i el 6% el 2003 i el 2004, respectivament.

L'edat mitjana de les visites és de 33 anys. En l'histograma de freqüències per edats s'observen 3 poblacions clarament ben diferenciades: població pediàtrica, població adulta i població gran. Per sexes, un 53% de la demanda és femenina.

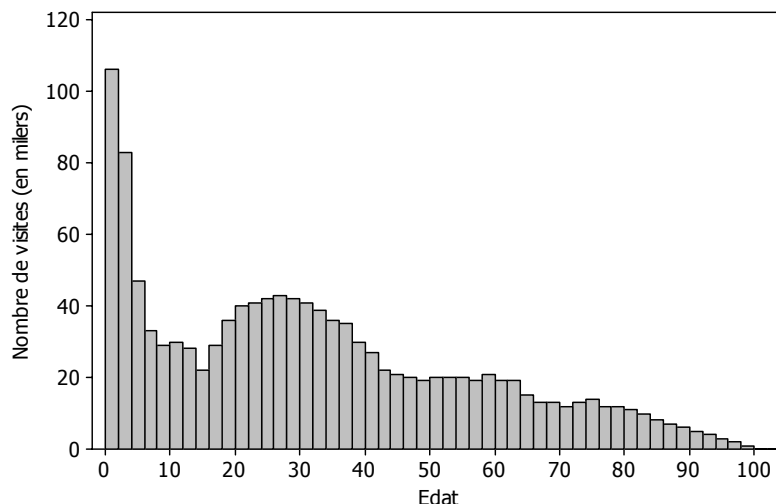


Figura 2: Histograma de freqüències per edats dels pacients atesos

Per diagnòstic, les visites més freqüents són les lesions seguides per les de tipus respiratori, les de l'aparell locomotor i les de l'aparell digestiu. Les de tipus respiratori representen un 14% de les visites, percentatge que varia en funció de l'època de l'any. Així, en els mesos d'hivern representa un 19% i en els mesos d'estiu disminueix a la meitat representant un 8,6%.

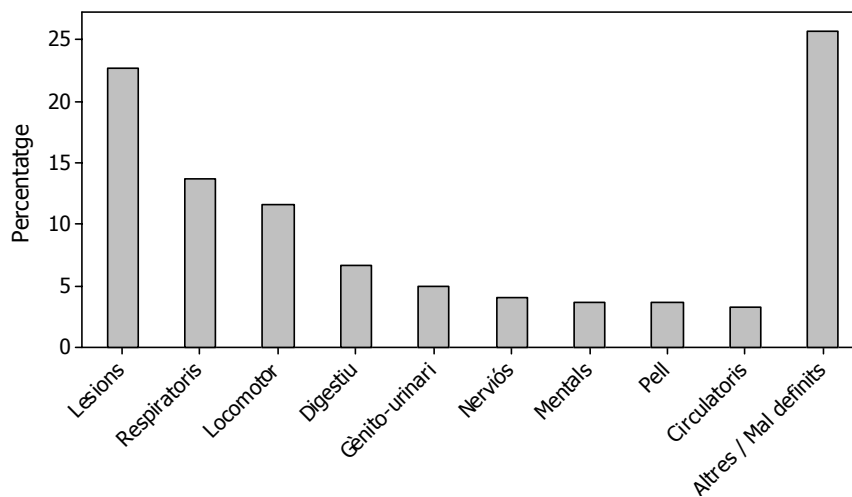


Figura 3: Percentatge de visites segons el diagnòstic que se'n fa

La distribució d'edat és diferent en funció del tipus de visita. Les visites per raons de tipus cardiovascular provenen d'una població més envellida (amb una mitjana de 66 anys), mentre que les de tipus respiratori són majoritàriament molt joves (mitjana = 20 anys) tot i que la majoria són d'edats pediàtriques (mediana = 4 anys).

Un fet que pot sorprendre en observar els primers resultats és que, de la població coberta d'aproximadament 400.000 habitants, durant 7 anys hagin passat pel Servei

d'Urgències 736.459 persones diferents. Segurament, molts demògrafs ho trobarien lògic, raonant que en un territori, durant un temps determinat, la seva població és dinàmica. Hi ha naixements i defuncions, emigrants i immigrants, persones en trànsit, persones no empadronades, turistes i, també, pacients derivats d'altres territoris i hospitals. Precisament, el fenomen de la immigració està a l'ordre del dia en el nostre entorn, fet que també es veu reflectit en la procedència de les visites d'origen estranger que augmenta any rere any.

Per altra banda, el SUH rep molts tipus de pacients diferents, quant a edat, patologia associada i gravetat. Pel que fa a l'edat s'observen tres poblacions: la pediàtrica i/o neonatal, que mereixerien un tractament diferenciat; la del grup adult, bastant freqüent, situat entre els 20 i 40 anys els quals, segurament, molts dels seus motius siguin accidents laborals i de trànsit; i la del grup d'edat avançada amb patologia associada a l'envelliment. Però bàsicament es poden distingir dos grans grups: els menors de 65 anys i els majors.

Tot això ja justifica fer l'anàlisi separat per edat i diagnòstic, però també assenyala que valgui la pena, en un futur, analitzar altres grups més específics pel que fa a edat i patologia, com seria el cas del grup d'edat neonatal i pediàtric que, molt probablement, tingui una casuística molt més diferenciada que la resta.

Evolució temporal

La Figura 4 mostra l'evolució de la demanda al llarg del període estudiat. Es pot observar una certa estacionalitat, però no una tendència a créixer ja que la demanda anual ha augmentat poc, només un 4% el 2004 respecte a 1998.

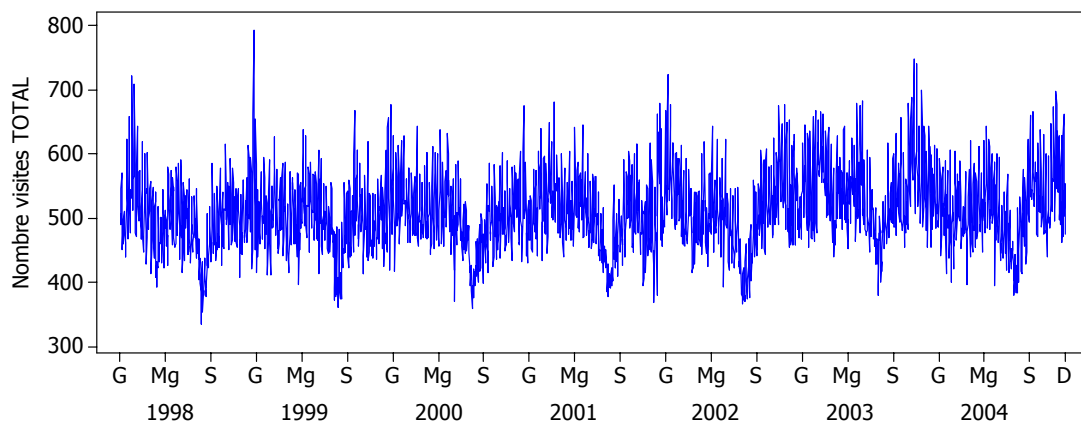


Figura 4: Evolució de la demanda en el període estudiat

L'evolució temporal posa de manifest que a l'estiu, i especialment al mes d'agost, la demanda baixa i té menys variabilitat que la resta de mesos (segurament degut al menor nombre d'afeccions respiratòries i de malalties epidèmiques).

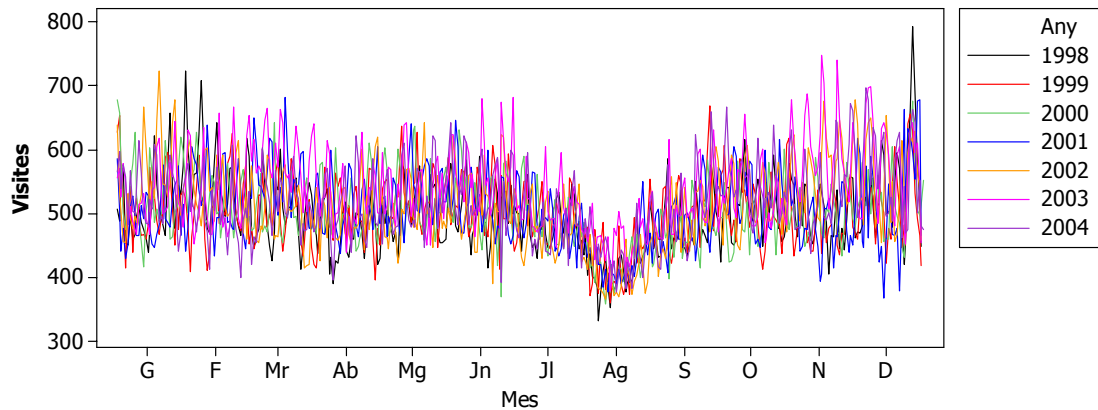


Figura 5: Evolució anual superposada dels 7 anys del període estudiat. La marca del mes s'ha situat a cada dia 15

S'ha observat que, setmanalment, la màxima demanda es dona els dilluns i dimarts mentre que la mínima la tenim dijous, divendres i dissabtes.

Si estratifiquem per tipus de diagnòstic s'observa que quan està relacionat amb l'aparell circulatori pràcticament no hi ha estacionalitat però sí una tendència creixent (Figura 6). El nombre de visites per aquest diagnòstic l'any 1998 va de ser de 4.583 i el 2004 de 6.024, el que representa un increment del 31%. Un altre aspecte rellevant és que el 63% d'aquestes visites les han protagonitzat pacients majors de 65 anys.

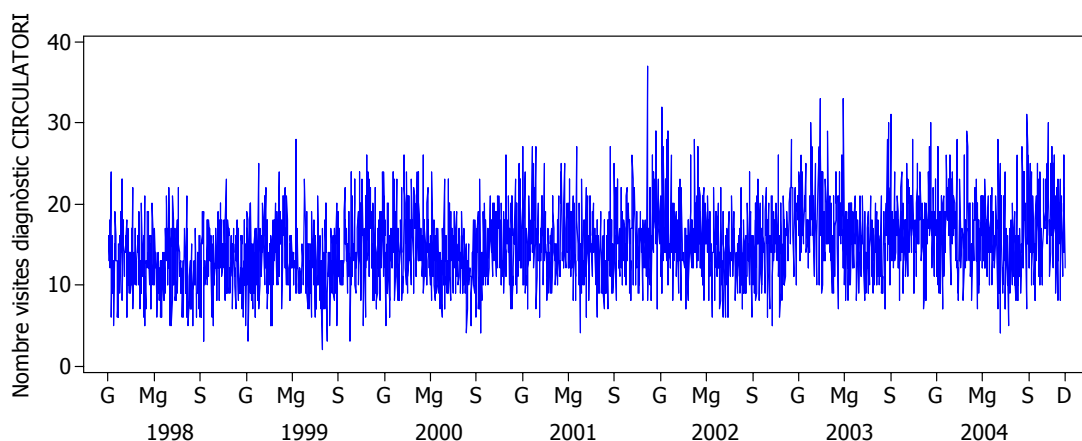


Figura 6: Evolució del nombre de visites amb un diagnòstic relacionat amb l'aparell circulatori

Respecte el nombre de visites que tenen com a causa l'aparell respiratori, l'estacionalitat és claríssima, i en aquest cas els majors de 65 anys només representen un 13% del total, mentre que els infants de 4 anys o menors representen el 50%.

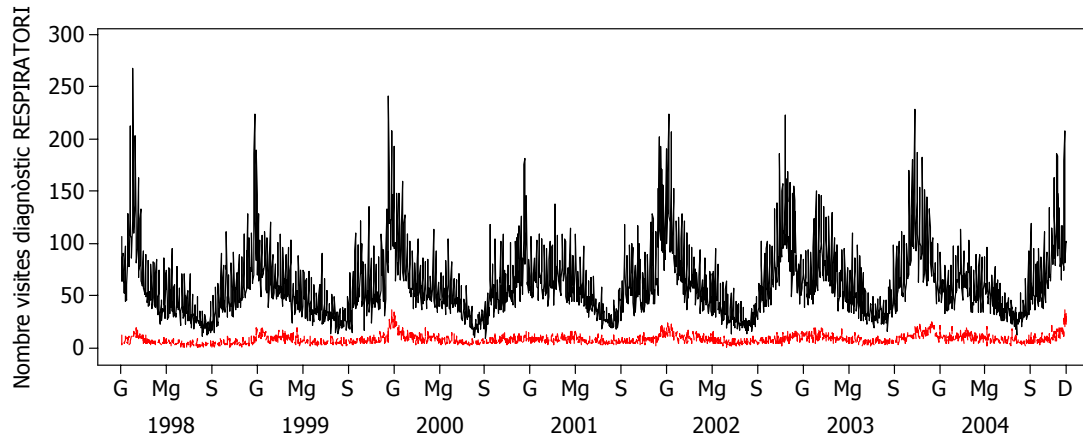


Figura 7: Evolució del nombre de visites, total (negre) i de majors de 65 anys (vermell), amb un diagnòstic relacionat amb l'aparell respiratori

Tant la temperatura mitjana com el nombre de visites amb diagnòstic relacionat amb l'aparell respiratori tenen un comportament clarament estacional. La temperatura mitjana disminueix cada hivern i augmenta a cada estiu mentre que el nombre de visites augmenta cada hivern i disminueix cada estiu (Figura 8).

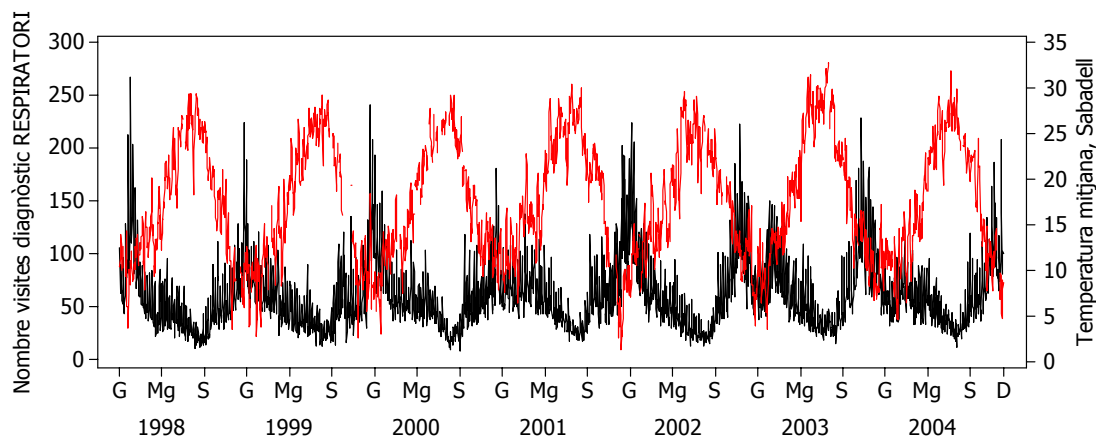


Figura 8: Evolució del nombre de visites amb un diagnòstic relacionat amb l'aparell respiratori (negre) i la temperatura mitjana diària a Sabadell (vermell)

El nombre de visites que tenen el seu origen en problemes de l'aparell respiratori presenta una diferència important entre dies laborables i festius (Taula 3). Aquesta diferència també s'observa, però és menor, en els que tenen 65 anys o més. Alguns experts veuen en aquesta diferència una prova de la banalitat d'algunes visites "urgents" que es regeixen pel calendari laboral. Quan el diagnòstic està relacionat amb l'aparell circulatori, les diferències són petites i a favor dels dies laborables.

Taula 3: Nombre mig de visites segons sigui dia laborable o festiu

Diagnòstic	Segment d'edat	Nombre mig de visites	
		Laborables	Festius
Respiratori	< 65	51,0	84,3
	≥ 65	7,47	9,25
Circulatori	< 65	5,49	4,83
	≥ 65	9,36	8,89

Descomposició de la variabilitat

A partir d'ara ens centrarem únicament en les visites de pacients de 65 anys o majors que acudeixen al SUH per motius respiratoris.

La Figura 9 representa el que s'anomena descomposició de la variabilitat, ja que a partir de la sèrie original se'n construeixen tres de noves, a través de les quals es podria tornar a reconstruir l'original. La primera representa la tendència de la sèrie, la segona l'estacionalitat i, la última, fa referència a la part residual.

Així doncs, observem una tendència creixent de forma no lineal durant tot el període. Augmenta més els primers anys, per després reduir la velocitat de creixement fins el 2004. També s'observa que existeix un patró que es repeteix al llarg del temps (hi ha estacionalitat). Es pot veure com aquest patró estacional que es va repetint al llarg dels anys és mensual. La part residual és la que no som capaços d'explicar a través de la tendència i l'estacionalitat.

Cal adonar-se que les escales d'aquests gràfics no són les mateixes i això pot conduir a una interpretació incorrecta de la importància d'aquestes components. Naturalment, existeixen procediments per valorar la significació estadística de la tendència i l'estacionalitat. En aquest cas, ambdues components són significatives.

La Figura 10 ajuda a valorar millor l'estacionalitat. Agrupa les mitjanes mensuals de tots els mesos estudiats i les representa en forma de sèrie temporal. Finalment, per cada mes es calcula la mitjana per tots els anys, el valor dels quals també queden reflectits en el gràfic. Així doncs, el primer que ens trobem és que el mes de gener té una demanda que ha variat força al llarg dels 7 anys estudiats, però és ara un dels mesos amb més demanda. S'observa també que la variabilitat augmenta en augmentar el valor mitjà. Això és típic de les variables aleatòries que, com aquesta del nombre de visites mensuals, es pot modelar a través d'una distribució de probabilitat anomenada de Poisson.

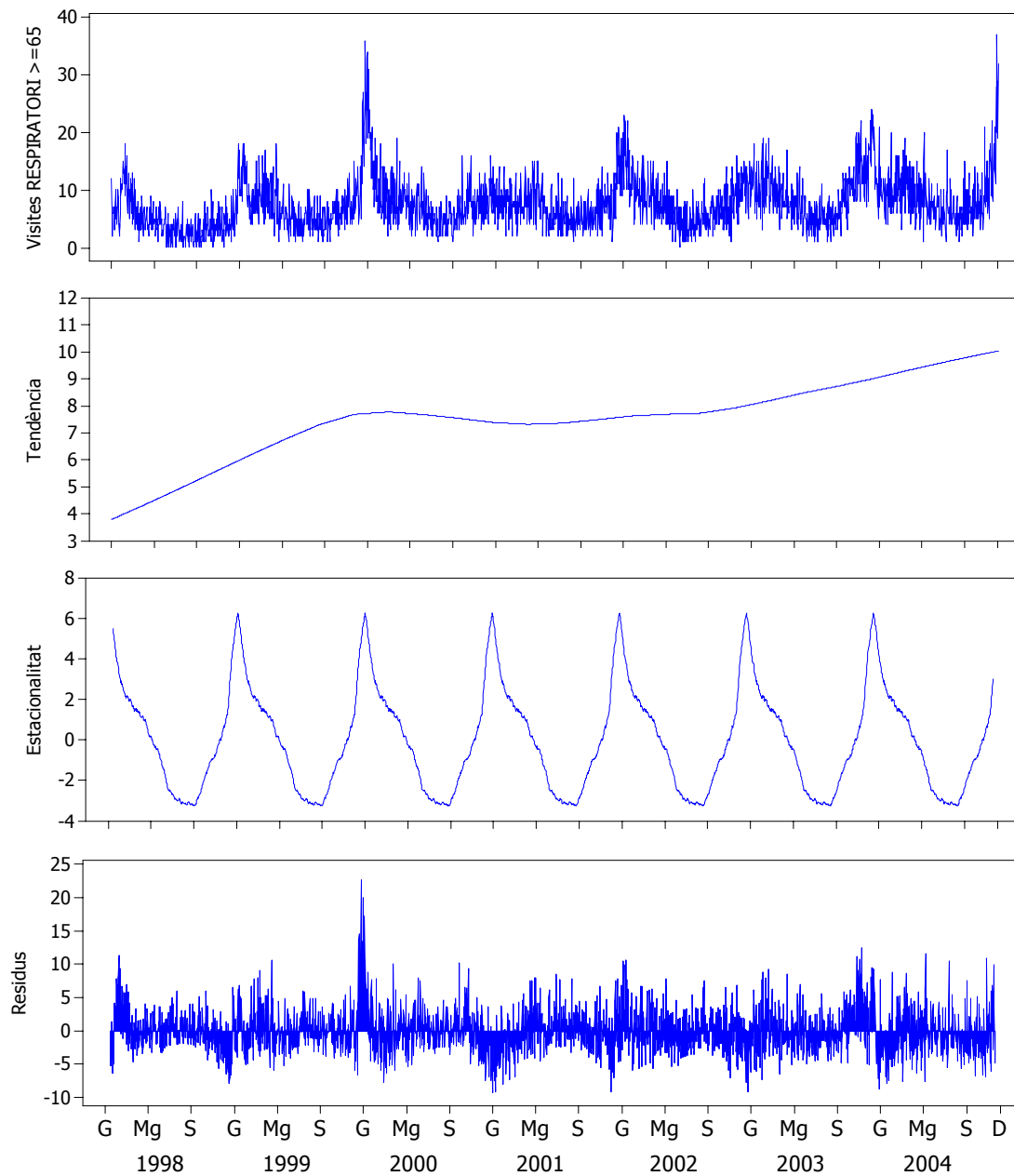


Figura 9: Descomposició de la variabilitat de la sèrie temporal corresponent al majors de 64 anys amb diagnòstic respiratori

L'estacionalitat que s'observa és molt clara i té forma de U, denotant que els mesos més freds són els de major demanda mentre que els càlids en tenen menys. Tal com havíem vist en altres gràfics, s'observa que les demandes màximes es corresponen als mesos de desembre i gener, i les mínimes coincideixen amb el període de vacances d'estiu (juliol, agost i setembre).

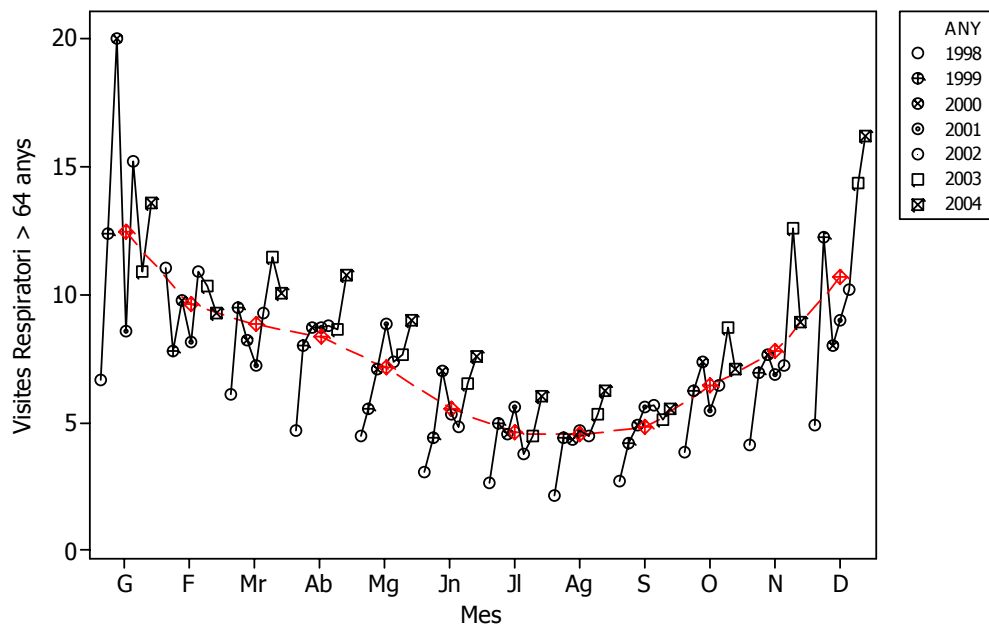


Figura 10: Valors promig del nombre de visites mensuals dels majors de 64 anys amb diagnòstic respiratori. Per cada mes s'indiquen els valors corresponents a cada any

Totes les sèrie, a més de l'anàlitzada, presenten una estacionalitat en forma d'V o bé d'U, amb més freqüentació en els mesos d'hivern i menys en els mesos d'estiu. La sèrie total té una caiguda de la demanda més pronunciada al juliol, agost i setembre. La resta de l'any es manté irregular, excepte el mes d'abril, que baixa una mica (pot coincidir amb el període de vacances de Setmana Santa). La sèrie de majors de 64 anys presenta una estacionalitat més progressiva, disminuint a mesura que s'acosten els mesos d'estiu i augmentant a mesura que s'apropen els mesos d'hivern.

Efecte de la climatologia: Associació de diagnòstics respiratoris en pacients de més de 64 anys amb factors climatològics

Més enllà de l'anàlisi descriptiva de les dades, es vol obtenir un model que expliqui la demanda d'aquest grup de la població en funció de variables ambientals (temperatura, vent i pressió atmosfèrica), incloent-hi també l'efecte del dia de la setmana i de si es tracta d'un dia festiu o no.

S'ha considerat que el més adient per aquesta situació és un model GAM (*Generalized Additive Models*) i és proposa el següent model per explicar la demanda (més concretament el logaritme del risc relatiu d'acudir a urgències per causes respiratòries en pacients majors de 64 anys):

$$\log(y_t) = \beta_0 + \beta_1 \text{Festiu} + \beta_2 \text{Dilluns} + \beta_3 \text{Dimarts} + \beta_4 \text{Dimecres} + \beta_5 \text{Dijous} \\ + \beta_6 \text{Divendres} + \beta_7 \text{Dissabte} + \beta_8 \text{Grip} + \beta_9 f_1(\text{Temps}) \\ + \beta_{10} f_2(\text{Temperatura}) + \beta_{11} f_3(\text{Vent}) + \beta_{12} f_4(\text{Pressió})$$

On, *Festiu, dilluns, dimarts, ..., dissabte, grip*: prenen el valor 1 en cas que el dia ho sigui o hi hagi un brot de grip, i 0 en cas contrari, i f_1, f_2, f_3, f_4 : són funcions de les variables tendència, temperatura, vent i pressió, respectivament.

La Taula 4 mostra el resultat de l'ajust del model escollit que inclou com a variables predictores: la temperatura, la pressió atmosfèrica, el vent i l'existència de grip, tot ajustat per la seva estructura temporal i l'efecte del calendari. No han entrat en el model la temperatura de xafegor, la humitat, la radiació solar i precipitació, donat que han resultat estadísticament no significatives.

Taula 4: Coeficients del model de regressió (β)

Variable	β	Variable (continuació)	β
Constant	4,7465	Festiu (sí)	0.1303
$f_1(\text{Temps})$	0,00015	Grip (sí)	0.1630
Dia de la setmana*		$f_2(\text{temperatura})$	0.0101
Dilluns	-0.1120	$f_3(\text{vent})$	-0.0293
Dimarts	-0.1657	$f_4(\text{Pressió})$	-0.0029
Dimecres	-0.1479		
Dijous	-0.0972		
Divendres	-0.1759		
Dissabte	-0.2077		

*El dia de referència és el diumenge.

Segons aquest model, com que els coeficients que acompanyen el vent i la pressió són negatius, representa que la presència de vent i altes pressions tenen efectes inversament proporcionals sobre la demanda. O sigui, a més vent i més pressió menys demanda de l'esperada. Amb la temperatura passa el contrari, tot i que la funció no és del tot lineal. Depenent de l'instant de què es tracti, el risc d'acudir al servei d'urgències és més elevat. S'observa un cert patró mensual que es va repetint (l'afluència no és igual tots els mesos de l'any) però que també varia en funció de l'any (té una tendència creixent).

La categoria de referència del dia de la setmana (el dia que no apareix en el model) és el diumenge. La resta de dies tenen associats uns coeficients que són negatius en tots els casos. Per tant, l'efecte de cada dia de la setmana és negatiu sobre la demanda

respecte el diumenge. En altres paraules, el diumenge és el dia amb més demanda, mentre que el dissabte és el que en té menys (coeficient més negatiu).

Per altra banda, els dies declarats com a dies amb epidèmia de grip i els dies festius incrementen la demanda esperada.

En la modelització s'ha seguit un mètode per passos cap endavant. Iniciant des d'un model basal amb els efectes del calendari i estructura temporal i, seguidament, afegint els predictors que eren significatius i milloraven l'ajust respecte el model anterior. Aquest mètode no assegura que l'ordre d'entrada dels predictors no influeixi en el resultat final. Per exemple, si s'hagués avaluat primer la temperatura de xafigor o la radiació solar abans que la temperatura molt probablement el model resultant hauria estat un altre. Per tant, el model presentat no pot considerar-se com l'únic vàlid entre tots els possibles.

Tot i així, reconforta veure que la relació trobada entre la temperatura i les visites per motius respiratoris al SUH és molt semblant a la que determinen altres autors en avaluar associacions entre contaminants ambientals i les visites a un servei d'urgències hospitalari, concretament per motius d'asma, on utilitzaven variables meteorològiques com a control. Altrament, la pressió atmosfèrica determina el bon o mal temps i també està relacionada amb el vent, i el vent és un bon predictor de contaminants ambientals. Així, sense aprofundir en altres interpretacions, no és d'estranyar l'existència d'aquestes associacions en aquesta anàlisi.

Les altres variables avaluades (humitat, radiació solar, temperatura de xafigor i precipitació) no aporten suficient informació per millorar l'ajust, són redundants (com és el cas de la temperatura de xafigor), o simplement no afecten.

De totes maneres, per entrar més a fons en interpretacions caldria la intervenció d'un expert per avaluar si les associacions trobades poden tenir algun sentit clínic/biològic o social, o poden estar lligades a altres factors desconeguts que no s'han avaluat en aquesta anàlisi.

Conclusions

L'aplicació d'eines gràfiques de sèries temporals ha permès detectar els patrons de comportament de les sèries de visites al SUH (en aquest resum s'ha presentat només la sèrie de visites de majors de 64 anys amb diagnòstic respiratori). Aquests patrons són diferents en funció del motiu de diagnòstic i el grup d'edat. En general, la demanda de les visites a urgències segueix un patró estacional, amb tendència positiva.

Les sèries de visites relatives a gent gran han crescut molt més al llarg dels anys que la resta. Aquesta tendència ha suposat un increment del 28% en 7 anys de la sèrie de majors de 64 anys. Aquest increment no es correspon a l'envelliment de la població de referència.

Les visites relatives a motius respiratoris tenen una variabilitat estacional més pronunciada que les dels altres motius analitzats. És a dir, l'efecte del mes té més influència en les causes respiratòries que en les altres causes.

Part de les fluctuacions de demanda durant l'any estan relacionades amb moviments migratoris, deguts a períodes de vacances. Així doncs, gran part de la demanda d'urgències hospitalàries, segurament les més banals, es regeixen pel calendari laboral. De fet, l'existència de la patologia banal queda reflectida en la gran variabilitat existent atribuïda als dies de la setmana i festius.

(Projecte de la Llicenciatura d'Estadística, presentat el novembre de 2006 amb el títol "Anàlisi del comportament de la demanda d'urgències hospitalàries i factors meteorològics associats")

Segurament tots els que alguna vegada ens hem passat hores esperant en un servei d'urgències (sí, hores i urgències) hem dedicat alguna d'aquestes estones d'avorriment i impaciència a pensar en què caldria fer per donar un millor servei.

Deu ser per això que aquests treballs sempre es miren amb bons ulls. Tota la informació que doni pistes sobre com convé distribuir els recursos per millorar la qualitat serà benvinguda. Falta en fa!



Jordi Real va realitzar els estudis de la Diplomatura d'Estadística a la Universitat Autònoma de Barcelona, on de seguida va col·laborar d'analista de dades en diversos projectes relacionats amb la salut (per un d'aquests va fer una estada de 3 mesos a Nicaragua). Més endavant mentre treballava d'estadístic consultor a l'Hospital Parc Taulí va fer la Llicenciatura d'estadística a la UPC. De l'estadística li agrada que té múltiples aplicacions en àmbits molt diferents. Es per això que es considera estadístic aplicat, i sobretot descriptivista. Actualment ensenya bioestadística a la Universitat de Lleida i treballa donant suport metodològic a professionals sanitaris en una unitat de suport a la recerca en l'àmbit d'atenció primària de l'IDIAP-Jordi Gol- ICS Lleida.

12

Anàlisi de la mortalitat per tumors malignes de mama i d'estómac a Catalunya

Projecte realitzat per: **Xavier Puig Oriol**
Dirigit per: **Josep Ginebra i Molins**

Les diferències en la distribució geogràfica de les causes de mortalitat són una informació de gran interès per lluitar contra elles. Les primeres hipòtesis sobre les causes de moltes malalties han estat establertes a partir de la identificació d'una major freqüència d'aparició en àmbits geogràfics on hi ha presència o absència de certs factors, siguin tipus d'hàbits, alimentació, exposicions ambientals o d'altres. A més, conèixer el patró de distribució geogràfica de qualsevol causa de mort ja té valor per ell mateix, ja que pot servir de base per a la presa de decisions en l'àmbit de la gestió sanitària i salut pública, mostrant les àrees on és més prioritari intervenir, així com avaluar l'efectivitat d'algunes intervencions o programes sanitaris implantats en les diferents àrees.

Per altra banda, conèixer l'evolució al llarg del temps de les causes de mortalitat aporta també una informació valuosa per identificar tendències, planificar recursos i, també, per avaluar els resultats de les accions que es van desenvolupant.

Introducció

L'objectiu del projecte era proporcionar una informació complementària als indicadors de mortalitat elaborats anualment pel Registre de Mortalitat de Catalunya, presentant una anàlisi temporal i una anàlisi espacial. En el projecte complert s'anàlitzaven els tumors malignes de pulmó i estómac tant en homes com en dones; i el de mama en dones. En aquest resum, però, s'il·lustraran alguns dels resultats de l'anàlisi temporal i espacial pel tumor maligne de mama en dones i pel tumor maligne d'estómac tant en homes com en dones.

Respecte als tumors que aquí s'anàlitzaven, el tumor maligne de mama femenina en el moment de l'estudi era la causa de mortalitat més freqüent per càncer entre les dones. A Catalunya, aquest tipus de càncer causa unes 1.000 morts anuals i les taxes de mortalitat eren de les més altes de l'estat espanyol. L'abordatge terapèutic del que està sent objecte durant els últims anys està tenint un impacte molt important en la supervivència, motiu pel qual l'anàlisi de la seva evolució temporal és de gran interès. S'ha investigat molt sobre la etiologia d'aquest tumor, encara que els factors de risc coneguts explicarien menys de la meitat dels casos observats. També s'ha descrit l'existència d'una susceptibilitat genètica (major freqüència en dones amb familiars afectades) i la relació amb diferents factors hormonals i reproductius (menopausa tardana o primer fill engendrat a edat avançada, entre d'altres). L'obesitat, l'alt consum de greixos i proteïnes animals, i el consum d'alcohol també s'associen a la major freqüència d'aparició d'aquest tumor.

La mortalitat per càncer d'estómac en homes va ocupar el quart lloc en les causes de mortalitat per càncer durant el període estudiat, després del càncer de pulmó, pròstata i colon. Els factors de risc del càncer d'estómac en les dones són els mateixos que en els homes: els hàbits alimentaris i el consum d'alcohol. Aquest darrer podria explicar part de la major freqüència d'aparició d'aquest càncer en els homes. Fins la realització del projecte, la dieta com a factor de risc havia tingut un clar patró espacial i per aquest motiu té un especial interès l'estudi de la distribució geogràfica d'aquesta malaltia.

Les dades

Les dades que calen per fer una anàlisi de la mortalitat són el nombre de defuncions i la grandària de la població. Tant les defuncions com la població es poden categoritzar d'acord amb el sexe, l'edat, l'any de defunció i la comarca de residència.

Les dades de defuncions provenen del Registre de Mortalitat de Catalunya del Departament de Salut. En aquesta anàlisi es consideren les defuncions de residents a Catalunya ocorregudes en aquest territori durant el període 1986-2000. No s'inclouen els residents a Catalunya morts fora del territori català, que representen aproximadament un 1% del total.

Les dades de població provenen de les estimacions intercensals i postcensals a 1 de juliol elaborades per l'Institut d'Estadística de Catalunya (IDESCAT) a partir dels censos i padrons dels anys 1986, 1991 i 1996. Les unitats geogràfiques seleccionades per a l'anàlisi han estat les 41 comarques catalanes.

Indicadors per l'anàlisi temporal

Taxa bruta de mortalitat

Existeixen diferents formes d'avaluar les taxes de mortalitat. Una d'elles és la "taxa bruta de mortalitat" (*TB*) que es calcula com el quocient entre el nombre de morts en un període de temps i la població en el mateix període. La *TB* expressada com a defuncions per 100.000 persones-any és:

$$TB = \frac{D}{P} \times 100.000$$

On,

D: és el nombre total de defuncions durant el període de temps determinat, i

P: són les persones-any del període

El valor del denominador, persones-any del període, s'obté com la suma de la població en risc de patir la malaltia (per exemple: només dones en el cas del càncer de mama) en cada un dels anys considerats. Aquest pot ser un valor controvertit i el criteri més acceptat és utilitzar la suma de les estimacions de la població a 1 de juliol de tots els anys que formen el període.

Taula 1: Taxes brutes per 100.000 habitants per càncer de mama a Catalunya

	1986-1990	1991-1995	1996-2000
Nº defuncions	4.623	5.351	4.883
Persones-any	15.369.836	15.530.721	15.685.455
Taxes brutes	30,08	34,45	31,13

Aquesta taxa bruta de mortalitat ignora la distribució de la població per edat i, per tant, resulta poc útil a l'hora de fer comparacions. Així, si la incidència de la mortalitat és més elevada en les edats avançades, una àrea més envellida que una altra tindrà una *TB* superior. És conegut que l'edat és un factor determinant en el comportament de la mortalitat, però és un factor no modificable. Per comparar la mortalitat d'àrees amb diferents estructures de població és necessari eliminar l'efecte confusor de l'edat.

Taxes específiques de mortalitat

Les taxes específiques de mortalitat en lloc de prendre el conjunt de les defuncions i el conjunt de la població només consideren una part d'aquestes. En el nostre cas, es poden calcular taxes específiques per a cada tram d'edat. La seva expressió per 100.000 persones-any i pel grup d'edat x , serà:

$$m_x = \frac{d_x}{p_x} \times 100.000$$

On:

d_x : és el nombre total de defuncions en l'interval d'edat x ,

p_x : són les persones-any de l'interval d'edat x

Les taxes específiques també es poden donar per sexe, per causa de mortalitat o per comarca. A la Taula 2 es mostren les taxes específiques per grups d'edat quinquennals per càncer de mama durant els tres períodes. És clara l'existència d'un gradient que augmenta amb l'edat, exceptuant el primer grup que s'allunya d'aquest patró i que podrien tractar-se de casos mal codificats, bé de la causa o bé de l'edat. Les taxes brutes són una mitjana ponderada de les taxes específiques, on els pesos són la proporció de població en cada subgrup d'edat.

Taxes de mortalitat estandarditzades

La Taxa de Mortalitat Estandaritzada (*TME*) tracta de respondre a la pregunta: si les dues poblacions tinguessin una estructura d'edats igual, quina tindria una major mortalitat? És a dir, fa que la taxa de mortalitat sigui independent de les piràmides d'edats de les poblacions que es comparen.

La *TME* es calcula prenent com a referència l'estructura d'edats d'una població tipus. Una possibilitat és fer servir com a població tipus la població mundial, que permet realitzar comparacions internacionals, però aquesta població té una estructura molt jove i produeix una gran modificació de les taxes quan s'aplica a poblacions més

envellides. Una possibilitat alternativa és utilitzar altres poblacions estàndard com l'europea, o bé en el nostre cas la població catalana.

Taula 2: Taxes específiques de mortalitat per càncer de mama Catalunya

EDAT	PERIODE			TOTAL
	1986-1990	1991-1995	1996-2000	
<1	4,29	0	0,73	1,70
1-4	0,00	0	0,00	0,00
5-9	0,00	0	0,00	0,00
10-14	0,00	0	0,13	0,03
15-19	0,00	0	0,10	0,03
20-24	0,26	0,25	0,16	0,22
25-29	1,59	1,01	0,65	1,07
30-34	5,12	4,71	3,00	4,24
35-39	15,19	10,96	8,13	11,29
40-44	22,01	26,04	18,58	22,15
45-49	35,99	37,49	28,21	33,72
50-54	48,50	50,44	36,87	44,85
55-59	60,80	60,32	47,41	56,49
60-64	64,98	72,24	58,26	65,31
65-69	73,55	76,95	63,34	71,07
70-74	85,78	89,31	89,09	88,21
75-79	103,15	111,2	101,61	105,15
80-84	123,04	146,03	122,32	130,59
85-89	154,58	176,92	151,36	160,78
90-94	184,69	223,04	234,78	219,81
>94	222,46	244,1	263,41	248,24
Total	30,08	34,45	31,13	31,89

Hi ha diverses formes de calcular la *TME*, en aquest resum farem servir l'anomenada forma directa que, per 100.000 persones-any, es calcula amb la següent fórmula:

$$TME = \frac{\sum_{x=1}^J m_x \times \Pi_x}{\sum_{x=1}^J \Pi_x}$$

On,

m_x : és la taxa específica de mortalitat per 100.000 persones-any en l'interval d'edat x

Π_x : és la població tipus en l'interval d'edat x

J : és el nombre d'interval d'edat

A partir de les dades de la Taula 3 es pot determinar la *TME*. Per al període 1991-95 a Catalunya, prenent com a població de referència la de 1991, s'obté una *TME* de:

$$TME = \frac{184.848.870,4}{6.059.494} = 30,51$$

Taula 3: Càlculs per la determinació de la taxa de mortalitat estandarditzada per càncer de mama a Catalunya en el període 1991-95. Com a població de referència s'ha pres la de 1991

j	Segments d'edat	Població de referència, Π_x	Taxa específica per segment d'edat, m_x	Producte $m_x \times \Pi_x$
1	0-4	280.083	0	0,0
2	5-9	337.829	0	0,0
3	10-14	458.366	0	0,0
4	15-19	512.091	0	0,0
5	20-24	487.215	0,25	121.803,8
6	25-29	469.141	1,01	473.832,4
7	30-34	446.777	4,71	2.104.319,7
8	35-39	412.802	10,96	4.524.309,9
9	40-44	407.726	26,04	10.617.185,0
10	45-49	367.460	37,49	13.776.075,4
11	50-54	320.004	50,44	16.141.001,8
12	55-59	357.360	60,32	21.555.955,2
13	60-64	335.329	72,24	24.224.167,0
14	65-69	296.938	76,95	22.849.379,1
15	70-74	215.013	89,31	19.202.811,0
16	75-79	168.887	111,2	18.780.234,4
17	80-84	112.547	146,03	16.435.238,4
18	85-89	54.548	176,92	9.650.632,2
19	90-94	16.061	223,04	3.582.245,4
20	>94	3.317	244,1	809.679,7
Total		6.059.494		184.848.870,4

L'avantatge d'aquest indicador és que concentra en un sol número la taxa de mortalitat prenent en consideració l'estructura d'edats i permetent, per tant, comparar dades provinents de diferents tipus de població (sempre i quan es calculin agafant la mateixa població de referència).

Però presenta una limitació quan es treballa amb poblacions petites, com passa en algunes comarques, ja que hi ha poques defuncions i això fa que les *TME* presentin una variabilitat elevada que dificulta la seva interpretació. Una forma de contemplar

aquesta situació és considerar que el nombre de defuncions és una variable aleatòria (concretament, una Poisson), i a partir de les dades disponibles estimar la seva variabilitat, el que permet calcular intervals de confiança per la *TME* tal com es presenten a la Taula 4.

Taula 4: *TME per 100.000 habitants a Catalunya, amb els seus intervals de confiança del 95%*

Període	<i>TME</i>	Interval de confiança del 95%
1986-1990	28,81	(27,98 - 29,65)
1991-1995	30,51	(29,68 - 31,33)
1996 - 2000	25,29	(24,25 - 26,02)

Anàlisi temporal pel càncer de mama en dones

La primera impressió visual de l'evolució de la mortalitat per càncer de mama, Figura 1, ja suggereix que l'efecte de l'any de defunció no ha estat lineal, sinó més aviat quadràtic amb un increment important de les taxes de mortalitat fins l'any 1991, i a continuació un descens. Per tant, fa sospitar la necessitat d'introduir un terme quadràtic per l'any de defunció en l'ajust del model, per tal de recollir aquest efecte paràbola, tal com s'ha fet en l'ajust que es presenta.

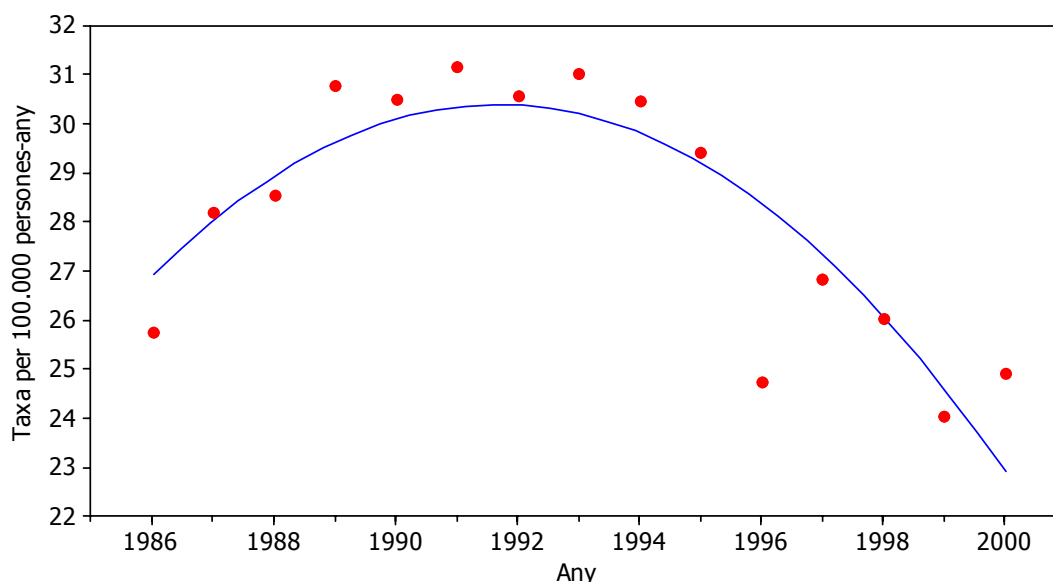


Figura 1: *Taxes ajustades de mortalitat per càncer de mama a Catalunya durant el període 1986-2000 prenent com a referència la població de Catalunya del cens de 1991*

El que plantegem seguidament és si l'evolució és similar pels diferents grups d'edat. En observar el gràfic de les taxes específiques per edat (Figura 2) és clar que hi ha un gradient de les taxes amb l'edat, és a dir, que a major edat les taxes són més altes. El que no s'observa tan clarament (només observant els punts i no les línees) és si hi ha efecte quadràtic, però això és difícil de valorar gràficament.

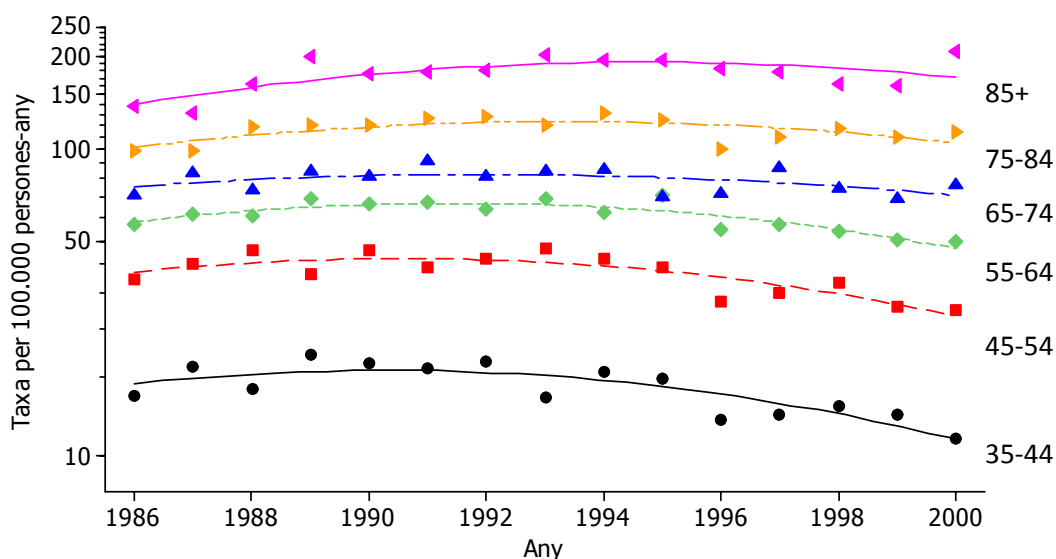


Figura 2: Taxes de mortalitat específiques per edat, observades i estimades pel model ajustat de càncer de mama a Catalunya durant el període 1986-2000

Tant a l'hora d'escollir el model estadístic més adequat com a l'hora de validar la bondat d'ajust s'han usat criteris estadístics. El millor model serà el més simple d'entre els possibles que representi *prou bé* la realitat. Un cop aplicades les eines estadístiques s'ha conclòs que el model que representa millor la realitat és el model que conté com a variables explicatives de la mortalitat per càncer de mama: *edat*, *període*, *període²* i *edat·període*. El fet de tenir *període²* ens indica que el model tindrà curvatura. Per altra banda, observem que l'edat interacciona amb el període, per tant voldrà dir que el valor d'una variable dependrà del valor que prengui l'altra. Aquest model ens indica que una mateixa paràbola amb la mateixa curvatura serveix per explicar l'evolució de tots els grups d'edat però, això sí, traslladada a diferents punts per a cada grup d'edat, cosa que a simple vista no érem capaços de determinar amb seguretat.

A partir del model ajustat amb les dades es pot estimar l'any en què s'assoleix la taxa màxima per cada grup d'edat, i el valor de la taxa predit. Aquests valors estimats es presenten a la Taula 5.

Taula 5: Estimació de l'any en què s'assoleix la taxa màxima de mortalitat, i valors predits de la taxa màxima de mortalitat per grups d'edat en dones amb càncer de mama a Catalunya en el període 1986-2000

Grup d'edat	Any en què s'assoleix la taxa màxima de mortalitat	Valors predits de les taxes màximes de mortalitat per 100.000 persones-any
35-44	1989	18,824
45-54	1990	43,591
55-64	1991	65,861
65-74	1992	84,836
75-84	1993	123,923
>84	1994	192,248

És interessant veure com l'any en què s'assoleix el màxim varia gradualment amb l'edat, així l'inici en el descens experimentat en la mortalitat s'observa de forma més tardana a mesura que incrementa l'edat. A més, les taxes de mortalitat per càncer de mama són molt majors en grups d'edats més avançats.

Anàlisi temporal pel càncer d'estómac en homes

A Catalunya, la mortalitat per càncer d'estómac ha seguit la mateixa tendència descendent observada en tots els països desenvolupats, tant en els homes com en les dones. El descens observat a la Figura 3 es repeteix a la Figura 4, que representen l'evolució de les taxes específiques per grups d'edat. A la Figura 4, en la qual es tenen en compte els grups d'edat, s'observa que les taxes més altes de mortalitat per càncer d'estómac en homes es donen en els grups d'edat més avançades.

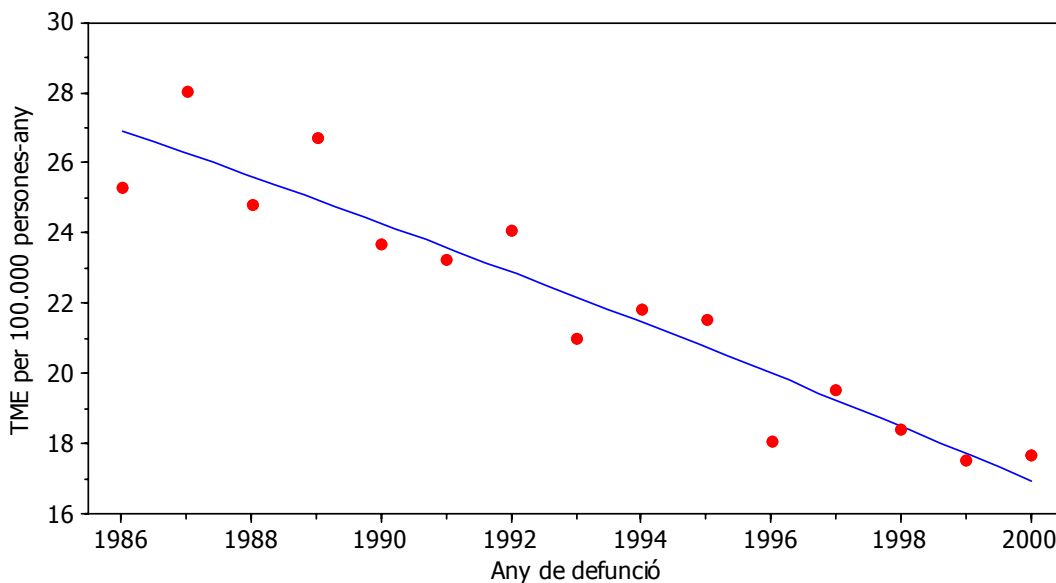


Figura 3: Evolució de la taxa de mortalitat estandarditzada, segons la població de Catalunya del cens de 1991 per càncer d'estómac en homes a Catalunya durant el període 1986-2000

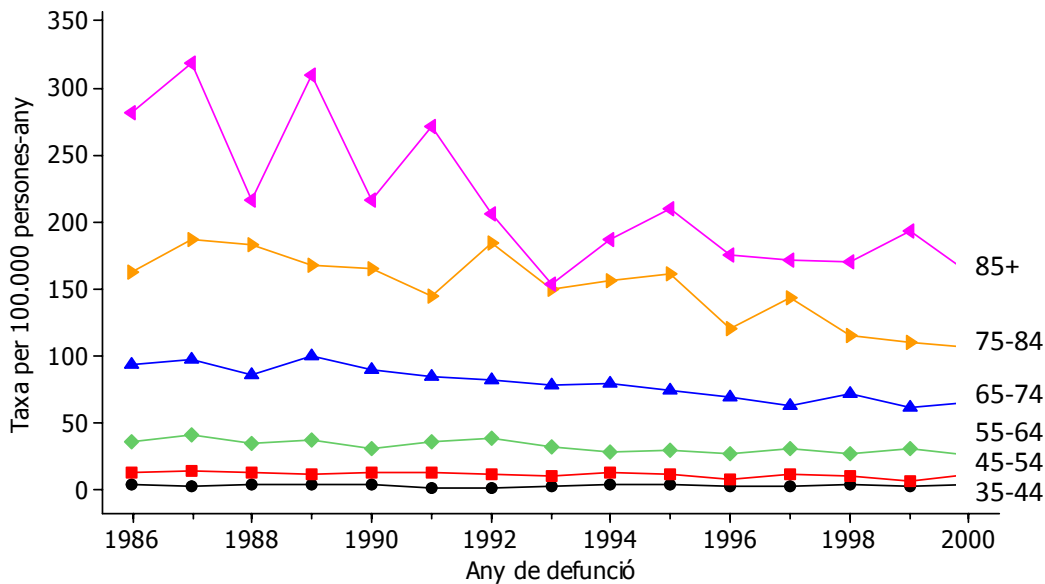


Figura 4: Evolució de les taxes específiques per edat i any de defunció per càncer d'estómac en homes a Catalunya durant el període 1986-2000

Tot i que les taxes més elevades corresponen al grup d'edat «85 i més», aquests en nombre absolut representaven tan sols els 8,4% dels casos l'any 1986, i el 10,5% l'any

2001. Això podria explicar part de la variabilitat en les taxes observades en aquest grup d'edat.

Fent determinades hipòtesis sobre el comportament de les dades¹ s'ha arribat a la conclusió de que el millor model per explicar el valor esperat del nombre de defuncions per edat i any és de tipus log-lineal (el logaritme de la variable resposta s'explica a través d'una funció lineal). A partir d'aquest model es pot deduir que el valor esperat pel percentatge de canvi anual és del -3,13%. És a dir, hi ha una tendència a la disminució de la mortalitat per aquesta causa.

Anàlisi temporal pel càncer d'estómac en dones

Igual que succeïa amb els homes, la mortalitat per càncer d'estómac en les dones ha seguit la mateixa tendència decreixent observada a la resta de països europeus.

Tal com podem observar a la Figura 6 les taxes són més altes a més edat, i el descens global de la mortalitat observat a la Figura 5 es repeteix per tots els grups d'edat, si bé per les edats més joves no s'aprecia amb claredat, bàsicament per una qüestió d'escala.

De la mateixa manera que succeïa en el cas dels homes, ha augmentat la proporció de casos en els majors de 85 anys al llarg de tot el període observat. No obstant, aquesta concentració de casos és molt més accentuada en les dones. L'any 2000 el nombre de morts per aquesta causa en les dones del grup d'edat més gran representava el 22% dels casos (recordem que en els homes era del 10,5%).

¹ Bàsicament que el nombre de morts esperats per any i segment d'edat correspon a una variable aleatòria amb distribució de Poisson.

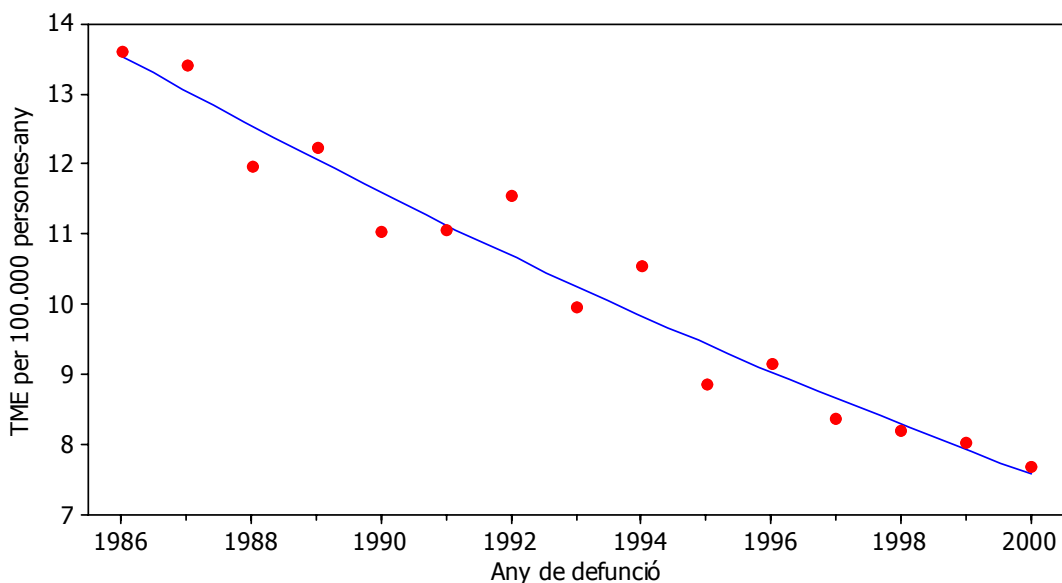


Figura 5: Evolució de la taxa de mortalitat estandarditzada, segons la població de Catalunya del cens de 1991 per càncer d'estómac en dones a Catalunya durant el període 1986-2000

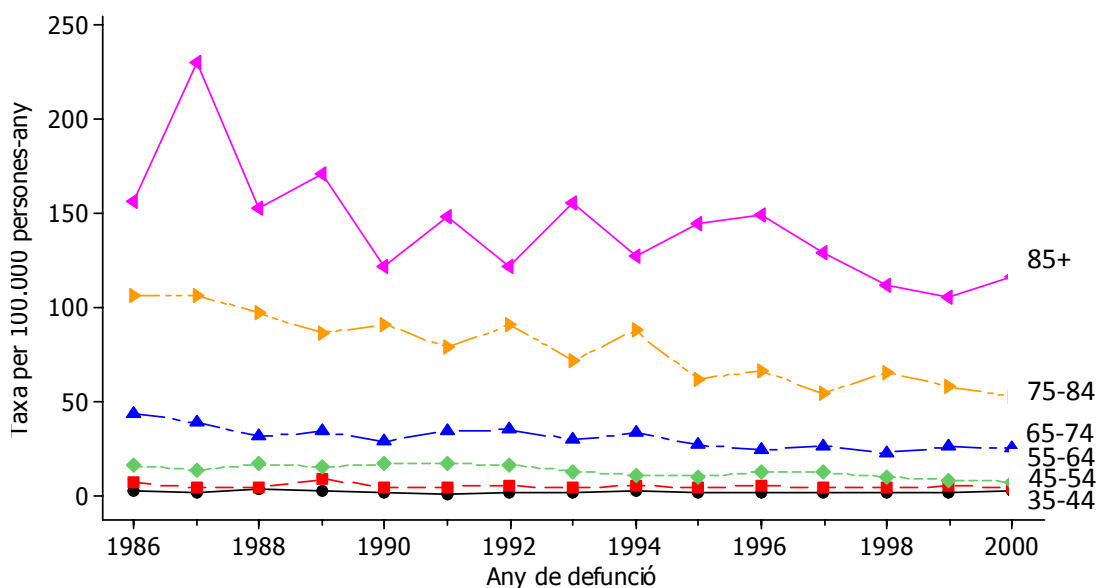


Figura 6: Evolució de les taxes específiques per edat i any de defunció per càncer d'estómac en dones a Catalunya durant el període 1986-2000

El model que millor ajusta aquestes dades també és de tipus log-lineal i el percentatge de canvi anual és del $-3,91\%$, així doncs la reducció de la mortalitat ha estat lleugerament més marcada en les dones que en els homes (recordem que aquests presentaven una reducció del $3,13\%$).

Anàlisi espacial

L'anàlisi espacial té com a finalitat representar els indicadors mitjançant mapes. L'avantatge dels mapes sobre les taules és que aporten una informació suplementària sobre la contigüitat, proximitat o llunyania entre les àrees amb el que s'aconsegueix una visualització i integració espacial de la informació.

L'indicador a seleccionar per representar és preferible que sigui una mesura global, com podria ser la *TME*. No obstant, i seguint el criteri de la gran majoria de treballs al respecte, s'usarà la raó de mortalitat estandarditzada (denotada *RME*), ja que és més fàcil d'interpretar i presenta major estabilitat.

El procediment de càlcul de la *RME* es coneix com estandardització indirecte. El concepte és el mateix que el de la directa però en aquest cas s'apliquen una sèrie de taxes específiques de mortalitat a les diferents estructures de població per grups d'edat de les àrees a estudiar, amb el que s'obté, també, un nombre de defuncions esperades. La *RME* sorgeix del quocient entre les defuncions observades i les defuncions esperades, i la seva expressió és:

$$RME_i = \frac{\text{Observats en l'àrea } i}{\text{Esperats en l'àrea } i} = \frac{\sum_{x=1}^J d_{x,i}}{\sum_{x=1}^J s_x \cdot p_{x,i}}$$

on:

$d_{x,i}$: és el nombre de defuncions a l'interval d'edat x de l'àrea i

$p_{x,i}$: són les persones-any per edat a l'interval d'edat x de l'àrea i

s_x : és la taxa específica estàndard a l'interval d'edat x

J : és el nombre d'interval d'edat

Les taxes específiques estàndard són les estimades a partir del conjunt de les poblacions que es pretenen comparar, en el nostre cas Catalunya. D'aquesta manera la *RME* s'interpreta com un risc relatiu respecte la mitjana de les poblacions a comparar (en aquest cas comarques). Tot i ser una mesura relativa, la *RME* és de fàcil interpretació com indicador de risc, ja que quan la RME_i és més gran que 1 vol dir que la mortalitat a la comarca i -èsima és superior a la de la mitjana de totes les comarques, mentre que quan és més petit que 1 vol dir que la mortalitat és inferior.

Per malalties poc freqüents i/o àrees petites, la variabilitat que presenten les dades dintre de l'àrea pot ser tan gran que no permet considerar com a significatives les diferències que es puguin observar. Per solucionar aquests problemes el projecte

planteja diferents alternatives metodològiques. Els resultats que aquí es comenten corresponen a l'enfocament denominat bayesià, que l'autor considera més adequat, i que permet que les àrees veïnes comparteixin informació.

Anàlisi espacial pel càncer de mama en dones

En el cas del tumor maligne de mama en dones l'anàlisi espacial no posa de manifest diferències significatives entre comarques. La notícia seria, doncs, que la incidència és similar en totes les comarques. Concretament, pel període 1986-1990 totes les comarques tenen una *RME* amb valors entre 0,9 i 1,1; tret d'algunes excepcions. En el període 1991-1995 només se separa d'aquest resultat general la comarca del Maresme, amb una *RME* a la categoria que va de 0,7 a 0,9. En el període 1996-2000 el Baix Empordà i la Vall d'Arán apareixen amb un indicador lleugerament superior (entre 1,1 i 1,3) i el Vallès Occidental està entre 0,7 i 0,9. Però aquests resultats no permeten afirmar l'existència de patrons de comportament ni distribucions d'incidència consolidades.

Anàlisi espacial pel càncer d'estómac

El càncer d'estómac, malgrat la tendència decreixent de la mortalitat, segueix essent una causa de mort molt freqüent. El nombre de defuncions anuals per càncer d'estómac en dones són prop de 200 casos menys que les observades en els homes i les taxes estandarditzades de mortalitat en les dones són aproximadament la meitat que les observades en els homes. A la Figura 7 es representa per cada sexe la raó de mortalitat estandarditzada per edat (*RME*) de cada comarca suavitzada amb el model bayesià. Aquelles comarques amb valors de la *RME* superiors a la unitat presenten riscos de mortalitat superiors a les del conjunt de Catalunya, considerat com estàndard.

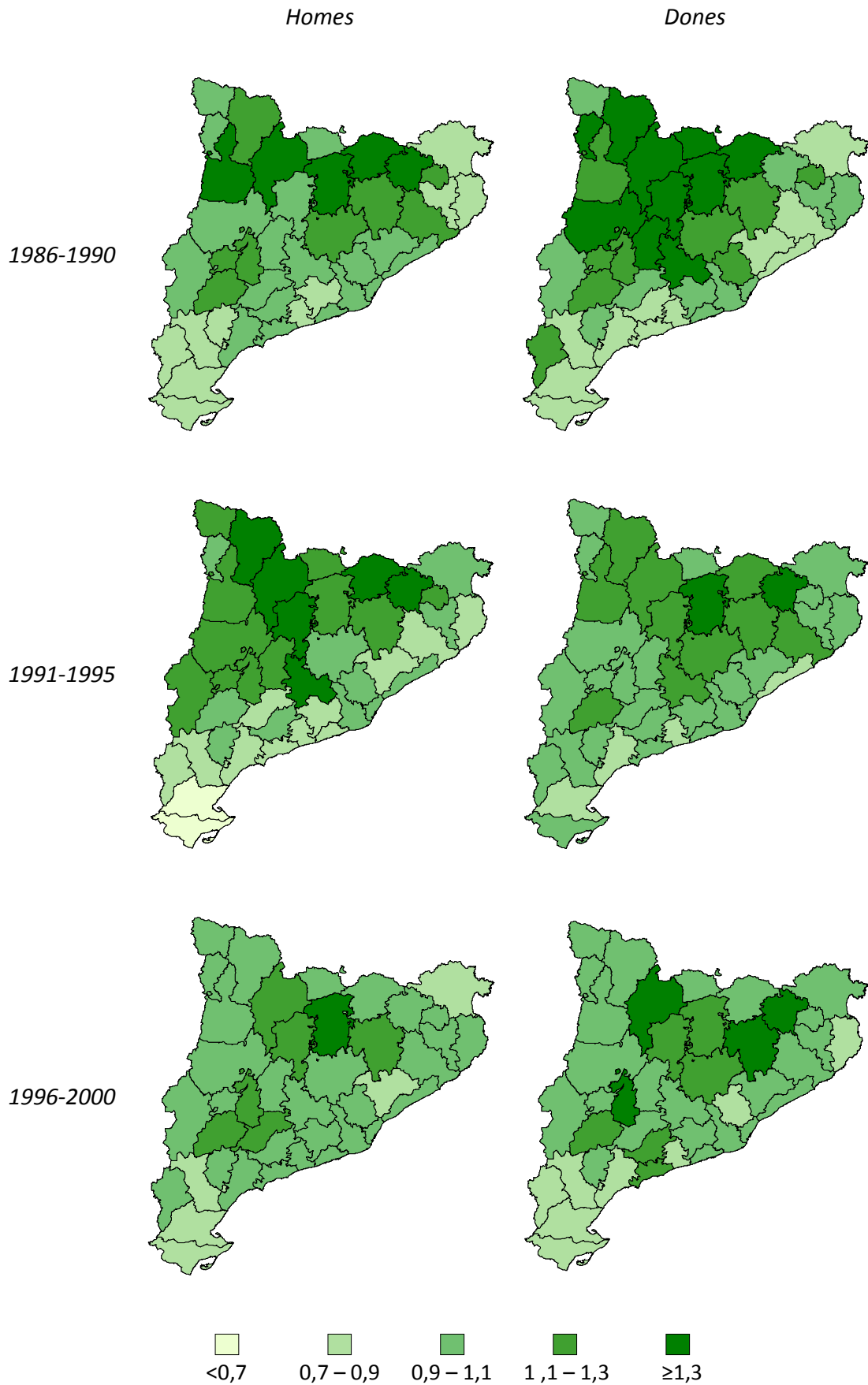


Figura 7: RME per càncer d'estómac per comarques a Catalunya durant el període 1986-2000

En l'anàlisi espacial s'observa un clar patró de distribució amb un gradient "costa-interior" pels dos sexes: en els dos primers períodes estudiats, les zones amb més baix risc es troben al litoral, i el risc va augmentant cap a l'interior i cap a les comarques pirenaïques. El nombre de zones amb un risc més elevat que el conjunt (les més fosques) descendeixen en l'últim període, sobretot en el cas dels homes, cosa que fa que el patró de distribució espacial es torni més homogeni.

Conclusions

Els resultats de l'evolució de la mortalitat per càncer de mama mostren un increment importat en la dècada dels anys vuitanta així com una reducció en els últims anys, compatible amb les tendències observades en altres estudis de l'entorn. L'any de canvi ha estat diferent entre els diversos grups d'edat. No és estrany pensar que l'efecte beneficiós de les intervencions sanitàries, terapèutiques i assistencials afectin de manera diferent als diversos grups d'edat, i, en particular, que els primers beneficiats siguin els grups d'edat més joves.

La distribució geogràfica "costa-interior" observada en la mortalitat pel càncer d'estómac és molt peculiar i no es presenta en altres causes de mortalitat. Aquest patró característic també ha estat descrit pel conjunt d'Espanya i es repeteix en estudiar zones més petites, com en el nostre cas. En aquest estudi, la mortalitat de la zona litoral és inferior a la de les zones de l'interior i nord de Catalunya, de forma molt consistent per ambdós sexes. Destaca, a més, que aquest patró s'ha anat difuminant en el temps, i encara que persisteixen algunes zones amb una mortalitat superior a la del conjunt, la tendència es mostra clarament cap a la uniformitat. Aquesta diferència pot ser deguda a variacions en els hàbits alimentaris i de consum entre la població de la zona costanera (més urbana) i la de la zona interior (més rural) associats al càncer d'estómac (o a la protecció contra ell), així com una menor accessibilitat a les tècniques que faciliten un diagnòstic precoç oportunista (endoscòpia digestiva alta per processos simptomàtics) i al tractament, en les zones més allunyades dels hospitals amb major tecnologia. Per altra banda, la generalització dels hàbits dietètics així com un millor accés a l'assistència sanitària en tot el territori, molt probablement han contribuït a la reducció i homogeneïtzació observada en la mortalitat.

Que la mortalitat per càncer d'estómac hagi disminuït de forma important en quasi tot el territori de Catalunya és una molt bona notícia. No obstant, la persistència encara d'algunes zones amb una mortalitat superior ha de ser un crit d'atenció pels dispositius assistencials i de planificació. La modificació del patró de mortalitat en altres àrees

geogràfiques significa que, en les zones de mortalitat alta, persisteixen espais on és possible la intervenció, tant des del punt de vista assistencial com des del punt de vista de la prevenció.

(Projecte de la Llicenciatura d'Estadística, presentat el juny de 2003 amb el títol "Anàlisi de la mortalitat a Catalunya, 1986-2000. Evolució temporal i distribució espacial")

Es indubtable l'interès d'aquest tipus d'estudis. Molt sovint és l'estadística la que va obrint el camí als avenços en el món de medicina i la salut pública, la que diu cap on s'ha de mirar, on pot estar la causa... A partir dels resultats d'aquest treball també s'han publicat articles en revistes especialitzades:

- *Xavier Puig; Rosa Gispert; Josep Ginebra; Josep Bisbe. (2006): "Mortalidad por cáncer de estómago en Cataluña: distribución geográfica y evolución temporal entre 1986 y 2000". Medicina Clínica , 126 (13). Pàgines 481-484*
- *Xavier Puig; Rosa Gispert; Josep Ginebra. (2005). "Estudio de la evolución temporal de la mortalidad mediante modelos lineales generalizados". Gaceta Sanitaria , 19 (6). Pàgines 481-485.*



Xavier Puig va cursar la Diplomatura d'Estadística a la Universitat Autònoma de Barcelona i després va fer la Llicenciatura a la UPC. Mentre estudiava la llicenciatura va treballar com a becari a l'Institut Català d'Oncologia i després es va incorporar al Departament de Salut de la Generalitat de Catalunya. Diu que va arribar a l'estadística per casualitat, i que fins al tercer any de la diplomatura no es va adonar de que li agradava. Ara s'hi dedica del tot, ensenya a d'altres i continua estudiant. És professor d'estadística a la UPC i està realitzant la seva tesi doctoral.

13

Expectatives de complicacions postoperatòries en funció de característiques del pacient

Projecte realitzat per: **Zahara Marina Briones Carrió**
Director: **Jaume Canet i Capeta**; Tutor: **Erik Cobo Valeri**

Les complicacions postoperatòries són un dels principals problemes que poden presentar les persones sotmeses a intervencions quirúrgiques. La seva incidència és elevada i són la causa d'estàncies hospitalàries prolongades i d'un augment de la mortalitat.

Evidentment, és molt important conèixer a priori quina és la probabilitat que es presentin aquestes complicacions. Hi ha evidència que aquesta probabilitat està relacionada amb l'estat de salut del pacient i amb el procediment quirúrgic i anestèsic realitzat. Respecte a l'estat de salut, diferents estudis mostren que pacients amb l'anomenada "malaltia pulmonar obstructiva crònica" tenen un risc més elevat de patir complicacions postoperatòries. Però els estudis realitzats fins ara tenen algunes limitacions (grups reduïts, només per determinats tipus de cirurgia, dades d'un sol hospital...) i la majoria s'han realitzat en àrees anglosaxones. Aquest treball presenta un estudi a gran escala realitzat en el marc del projecte ARISCAT, patrocinat per la Societat Catalana d'Anestesiologia, que pretén donar resposta a quins són els factors de risc en la població del nostre entorn.

Introducció al problema mèdic

La malaltia pulmonar obstructiva crònica (MPOC) consisteix en un trastorn pulmonar crònic que dona com a resultat un bloqueig en el flux d'aire als pulmons. Generalment, la lesió que causa aquesta malaltia és permanent i irreversible. Els símptomes que presenta un malalt de MPOC són: dificultat respiratòria que persisteix mesos o anys, sibilàncies, disminució en la tolerància a l'exercici i tos. A més, si es combina amb un consum habitual i prolongat de tabac ocasiona la inflamació del pulmó i la destrucció dels alvèols pulmonars (als alvèols és on té lloc l'intercanvi gasós entre l'aire inspirat i la sang).

A Catalunya l'hàbit de fumar ha disminuït entre els homes però ha augmentat entre les dones i la gent jove. L'any 1998 es van atribuir 55.613 morts a l'hàbit de fumar a tot Espanya, i 2.205 només a Barcelona, representant el 13,8% de les morts en la població més gran de 35 anys. Respecte la població quirúrgica, l'hàbit de fumar incrementa el risc de complicacions postoperatòries respiratòries (CPR), fins i tot en aquells pacients que no pateixen MPOC. El tabaquisme actiu està associat amb un risc de CPR aproximadament 6 vegades major.



Figura 1: Pacient sotmès a anestèsia amb respiració assistida

Cada any augmenta el nombre de pacients amb MPOC i/o hàbit tabàquic que se sotmeten a cirurgia. La MPOC incrementa les complicacions respiratòries, però falta informació sobre el perfil epidemiològic, els factors de risc, la qualitat de vida i les complicacions respiratòries en aquest tipus de pacients.

Objectiu de l'estudi

L'objectiu principal de l'estudi és identificar i quantificar els factors de risc de les complicacions postoperatòries respiratòries en pacients que se sotmeten a una intervenció quirúrgica. Conèixer quins són aquests factors permetrà a l'equip mèdic establir estratègies específiques en funció del tipus de pacient per reduir el risc de complicacions.

Aquest estudi s'ha fet en el marc del projecte ARISCAT, promogut per la Societat Catalana d'Anestesiologia, i ha comptat amb finançament de la Marató de TV3, que va dedicar el seu programa de 2003 a les malalties cròniques respiratòries.

Planificació i recollida de dades

A través dels hospitals participants en l'estudi, s'han recollit dades que caracteritzen una mostra dels pacients sotmesos a intervencions quirúrgiques, així com el tipus d'intervenció i tipus d'anestèsia que se'ls va aplicar. També s'ha recollit informació sobre el seu estat de salut als 3 mesos de la intervenció.

Àmbit de l'estudi

L'àmbit geogràfic d'estudi és tota Catalunya. Inicialment es va comptar amb la participació voluntària de 63 centres hospitalaris, però finalment 4 d'ells no van poder participar per problemes organitzatius. L'Hospital Clínic Universitari de València va mostrar interès en l'estudi i donat que pertany també a la regió Mediterrània, es va suposar que la seva població no diferia de la resta de centres universitaris participants, raó per la qual també va ser inclòs. En total, el nombre d'hospitals participants són els que s'indiquen a la Taula 1.

Taula 1: Nombre d'hospitals participants en l'estudi

Zona	Hospitals participants en l'estudi
Girona (província)	10
Lleida (província)	4
Tarragona (província)	7
Comarques de Barcelona	22
Barcelona ciutat	15
València ciutat	1
TOTAL	59

Selecció de la mostra de pacients

La població objectiu són els pacients als quals se'ls va realitzar algun tipus d'intervenció quirúrgica, sota anestèsia general o loco-regional¹ en els hospitals participants, i que no complissin cap dels següents criteris d'exclusió:

- Edat inferior a 18 anys
- Intervenció relacionada amb embaràs o part
- Intervenció realitzada amb bloqueig perifèric o anestèsia tòpica i/o sedació; és a dir, aquells procediments realitzats fora d'un quiròfan
- Reintervenció en l'ingrés (quan el temps entre l'alta hospitalària corresponent a la intervenció anterior és inferior a 30 dies)
- Pacient intubat a la seva arribada al quiròfan
- Transplantament d'òrgans

El període d'estudi es va fixar en un any degut a que es creia que algunes variables podien presentar un patró estacional (comportament específic en certes èpoques de l'any, o determinats dies de la setmana, diferents a la resta). Per seleccionar la mostra de pacients de cada hospital es van assignar aleatòriament 7 dies a cada un d'ells, distribuïts entre el 10/01/2006 i el 09/01/2007, un per cada dia de la setmana (no consecutius). La mostra aportada per cada hospital van ser els pacients intervinguts en aquests 7 dies, que no complien els criteris d'exclusió i que van acceptar participar en l'estudi. Amb aquest procediment es garantia una representació adequada de tots els dies de la setmana i una representació equilibrada de procediments urgents i programats.

En total, el nombre de pacients intervinguts quirúrgicament en els centres hospitalaris els dies assignats van ser 7.571. D'aquest total, es van excloure 4.221 per no formar part de la població objectiu en complir algun dels criteris d'exclusió definits. Finalment, dels 3.350 pacients d'estudi potencials un 10,7% van rebutjar participar en ell, per la qual cosa la mostra finalment va constar de 2.991 individus, dels quals es va aconseguir realitzar el seguiment complet de 2.954 (Figura 2).

Estudiant les característiques dels pacients que van rebutjar participar en l'estudi s'observa que el rebuig entre pacients fumadors és un 6,12% superior al de no fumadors, mentre que la proporció de fumadors a la mostra és inferior a la de no

¹ Injecció d'anestèsics en la proximitat d'un nervi o de la columna vertebral aconseguint que no se senti dolor a la regió on es farà la intervenció quirúrgica.

fumadors. També es posa de manifest que existeixen diferències pel que fa a l'edat: en promig els pacients estudiats són 2,47 anys més joves que els que han rebutjat participar-hi. Aquest fet es dona probablement perquè els pacients d'edats més avançades presenten problemes de comunicació per firmar el consentiment. Respecte a les intervencions, els pacients que van acceptar participar en l'estudi se'ls van realitzar un 19,34% menys d'intervencions urgents i un 4,64% més de cirurgia programada.

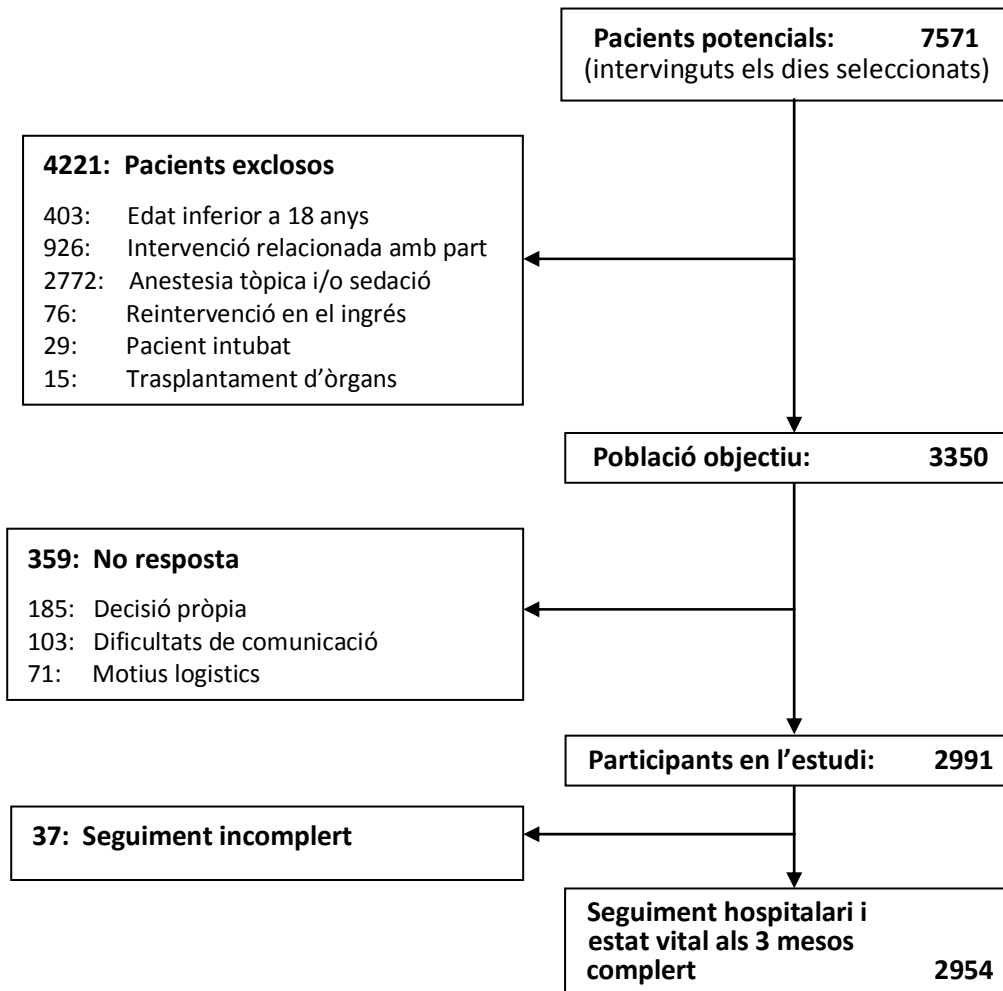


Figura 2: Diagrama de flux de la selecció de la mostra, indicant els motius de no acceptació

Recollida de les dades

El seguiment dels pacients inclosos en l'estudi va tenir una durada de tres mesos des de la data d'intervenció, a excepció dels pacients ingressats durant més de tres mesos que van ser seguits fins el moment en què van rebre l'alta hospitalària.

La recollida de les dades durant l'estància a l'hospital la van realitzar els anestesistes de cada centre. Un cop obtinguda l'alta hospitalària es va continuar recollint informació mitjançant un qüestionari realitzat telefònicament. En aquest aspecte va ser molt important la col·laboració dels pacients, que rarament van rebutjar participar en l'estudi. Contactar amb els pacients va comportar la realització de més de 6.500 trucades telefòniques. En cas de no poder contactar a través d'aquesta via es va enviar un qüestionari en el qual se'ls facilitava un sobre franquejat. Per aquesta via es va aconseguir localitzar a bastants pacients.

Les dades recollides es poden classificar en variables predictores i variable resposta. Les variables predictores fan referència a l'estat de salut previ a la intervenció així com a les característiques de la intervenció i al tipus d'anestèsia utilitzades. Els estudis similars ja realitzats anteriorment i l'experiència mèdica dels investigadors van permetre seleccionar aquelles variables que presenten rellevància clínica en aquest estudi. La Taula 2 conté el llistat d'aquestes variables.

La principal variable resposta és la presència (1) o absència (0) de complicacions postoperatòries respiratòries (CPR). Tot i que no formava part dels objectius d'aquest estudi, per una possible anàlisi posterior es va recollir també informació sobre altres tipus de complicacions durant la intervenció i posteriors a la intervenció, a més de les respiratòries (cardiovasculars, de ferida quirúrgica, i per altres causes).

Control de qualitat del procés de recollida de dades

Les dades es van recollir en formularis estructurats en una aplicació via web, i mitjançant certes regles de validació es va intentar evitar la presència de dades incoherents o mancants.

Tot i així, és inevitable que alguna dada contingui un valor anòmal. Per això, es va avaluar la qualitat de les dades realitzant una auditoria a 150 pacients, que equivalen aproximadament al 5% del total. En total es van trobar 379 errors en les 130 variables auditades (la majoria relacionats amb la duració de la intervenció), els quals representen un 1,94% d'errors en el total de variables auditades:

$$\frac{379 \text{ errors}}{130 \text{ variables} \cdot 150 \text{ individus}} \cdot 100 = 1,94\%$$

També es van auditar els centres hospitalaris: per cada un d'ells es van comprovar dos fulls de programació de quiròfan per verificar que la selecció de pacients s'havia fet de la forma correcta. Es va concloure que en els centres auditats els criteris d'elegibilitat es van aplicar de la forma establerta.

Taula 2: Variables predictores incloses en l'estudi

Variable	Tipus variable	Valors
<i>Sexe</i>	Qualitativa	H: Home, D: Dona
<i>Edat</i>	Quantitativa	18, 19, 20, ...
<i>Dependència funcional</i>	Qualitativa	1: Independent, 2: Dependent
<i>Tipus de fumador</i>	Qualitativa	1: No fumador, 2: Exfumador, 3: Fumador
<i>Paquets/any</i>	Quantitativa	1, 2, 3, ...
<i>Test de la tos</i>	Qualitativa	1: Positiu, 2: Negatiu
<i>Síntomes respiratoris</i>	Quantitativa	A partir de qüestionari del British Medical Council
<i>MPOC</i>	Qualitativa	0: Absència, 1: Presència
<i>Asma</i>	Qualitativa	0: Absència, 1: Presència
<i>Altres malalties respiratòries</i>	Qualitativa	0: Absència, 1: Presència
<i>PRAUM</i>	Qualitativa	0: Absència, 1: Presència
<i>Història de roncs</i>	Qualitativa	0: Absència, 1: Presència
<i>Història de somnolència</i>	Qualitativa	0: Absència, 1: Presència
<i>Diagnòstic oncològic</i>	Qualitativa	0: Absència, 1: Presència
<i>Obesitat</i>	Qualitativa	0: Absència, 1: Presència
<i>Patologia cardiovascular</i>	Qualitativa	0: Absència, 1: Presència
<i>Patologia neurològica</i>	Qualitativa	0: Absència, 1: Presència
<i>Hepatopatia</i>	Qualitativa	0: Absència, 1: Presència
<i>Insuficiència renal</i>	Qualitativa	0: Absència, 1: Presència
<i>Diabetis</i>	Qualitativa	0: Absència, 1: Presència
<i>Inmunodepressió</i>	Qualitativa	0: Absència, 1: Presència
<i>Sepsis</i>	Qualitativa	0: Absència, 1: Presència
<i>Alcoholisme</i>	Qualitativa	0: Absència, 1: Presència
<i>Anèmia</i>	Qualitativa	0: Absència, 1: Presència
<i>Sonda nasogàtrica</i>	Qualitativa	0: Absència, 1: Presència
<i>Intervenció urgent</i>	Qualitativa	U: Urgent, P: Programada
<i>Anestèsia general-combinada</i>	Qualitativa	1: Neuroaxial, 2: General – Combinada
<i>Incisió</i>	Qualitativa	1: Perifèrica, 2: Abdominal sup. 3: Intratoràcica
<i>Tipus incisió</i>	Qualitativa	1: Tancada, 2: Oberta
<i>Escala agressivitat quirúrgica</i>	Quantitativa	1 (menor) - 5 (major)

Anàlisi exploratòria de les dades

Una primera anàlisi exploratòria de les dades ja permet observar que el percentatge de pacients amb complicacions, tant durant l'operació (intraoperatòries) com posteriors (postoperatòries), és més gran pel grup de pacients que pateixen MPOC. En particular, per a les complicacions postoperatòries respiratòries, la diferència entre els dos tipus de pacients és molt clara (Figura 3).

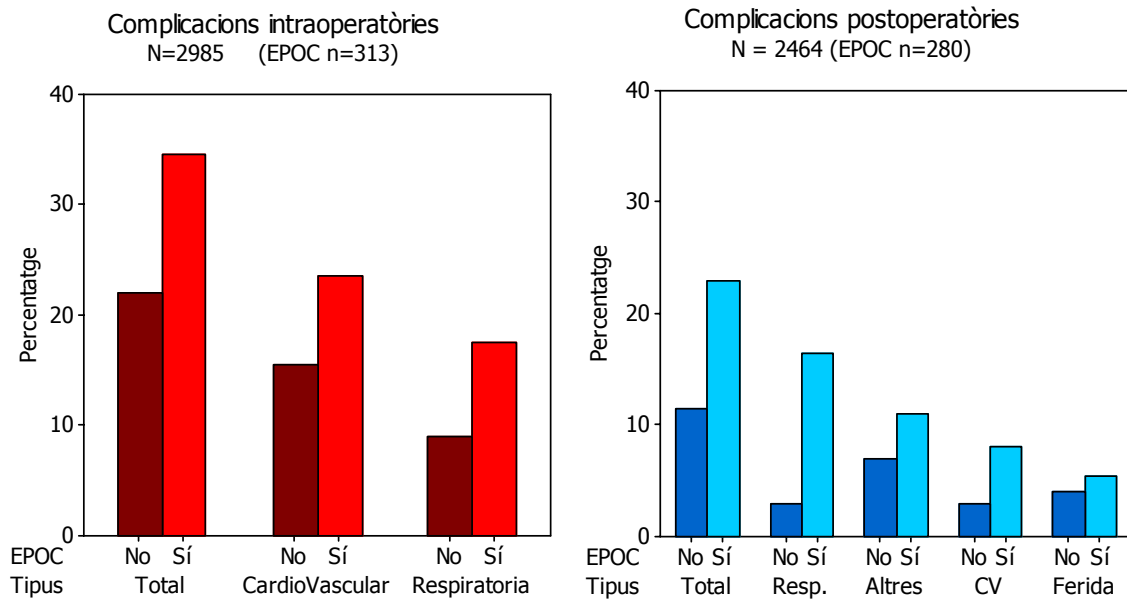


Figura 3: Percentatge de casos amb complicacions intraoperatòries i postoperatòries segons es pateixi o no MPOC

Construcció del model de previsió

La identificació i la quantificació dels factors de risc per les complicacions postoperatòries de tipus respiratori es fa mitjançant un model (una expressió matemàtica) que dóna la probabilitat de patir aquest tipus de complicació en funció del valor que tenen les variables que hi afecten.

Quan la resposta és una probabilitat, la manera més habitual de modelar-la és a través de l'anomenada regressió logística. Es tracta d'ajustar un model de regressió lineal en el qual la resposta és el que s'anomena un *log-odd*. Un *odd* és el quocient entre la probabilitat que succeeixi un esdeveniment i la probabilitat que no succeeixi. Un cop es treu el logaritme a un *odd*, s'obté un *log-odd*.

Aquest model s'escriu com:

$$\ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_k x_k$$

On p és la probabilitat de tenir complicacions postoperatòries, x_1, x_2, \dots, x_n representen els valors que prenen els factors de risc, i $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ són els coeficients que acompanyen aquests factors i quantifiquen la seva influència. β_0 és un terme independent que permet calcular la resposta quan tots els factors de risc prenen un valor igual a zero.

A partir de l'expressió anterior es pot aïllar fàcilment el valor de p , obtenint-se:

$$\left(\frac{p}{1-p}\right) = \exp(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_k x_k)$$

$$p = \frac{\exp(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_k x_k)}{1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_k x_k)}$$

A partir de les dades obtingudes i aplicant les tècniques de selecció de models de regressió, s'arriba a un model pel *log-odd* en què apareixen les variables regressores i els coeficients que es presenten a la Taula 3 (de fet, per construir el model només hem utilitzat una part de les dades, com es comenta més endavant).

Taula 3: Variables que entren al model i coeficients estimats per cada una

Variable que entra al model	Designació al model	Valors que pot prendre la variable	Coefficients estimats
EPOC	EPOC	0: No; 1: Sí	1,4130
Diagnòstic oncològic	DO	0: No; 1: Sí	0,8961
Sexe	Sexe	0: Dona; 1: Home	0,8954
Edat	Edat	Edat en anys	0,0262
PRAUM*	PRAUM	0: No; 1: Sí	1,3299
Intervenció urgent	IU	0: No; 1: Sí	1,4185
Incisió abdominal superior	IAS	0: No; 1: Sí	0,9148
Incisió intratoràcica	IIN	0: No; 1: Sí	1,7172
EAQ**	EAQ	De 1 (menor a 5 (major)	0,6692

* Procés respiratori agut durant l'últim mes

** Escala d'agressivitat quirúrgica

El terme independent és $\beta_0 = -8,2905$, i el model es pot escriure de la forma:

$$\ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = -8,2905 + 1,413 \text{ EPOC} + 0,8961 \text{ DO} + 0,8954 \text{ Sexe} + 0,0262 \text{ Edat} \\ + 1,3299 \text{ PRAUM} + 1,4185 \text{ IU} + 0,9148 \text{ IAS} + 1,7172 \text{ IIN} + 0,6692 \text{ EAQ}$$

Podem considerar que amb $MPOC = 0$ i uns valors determinats de les variables regressores el *log-odd* pren un determinat valor k , és a dir:

$$\ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = k$$

Si MPOC =1, mantenint els valors de la resta de variables regressores, tindrem:

$$\ln \frac{p}{1-p} = k + 1,413$$

O també:

$$\frac{p}{1-p} = e^k \cdot e^{1,413}$$

Si amb MPOC = 0 teníem $p = 0,5$, és fàcil comprovar que amb MPOC = 1 el valor de p passarà a ser 0,8.

Respecte a l'edat, augmentar-la un any mantenint constants la resta de variables, multiplica els *odds* per $e^{0,0262} = 1,0265$; és a dir, la probabilitat de patir CPR augmenten un 2,65% per cada any de diferència respecte el nivell de partida (18 anys).

Validació del model

A partir de la modelització, el que interessa és conèixer si un pacient amb determinats valors dels factors de risc, patirà o no complicacions respiratòries. La previsió es fa en funció de la variable resposta que dóna el model. Per sota d'un cert llindar es considera que el pacient no tindrà complicacions, i per sobre es considera que sí les tindrà.

Mostra d'aprenentatge i mostra de validació

Com s'ha dit anteriorment, el model es construeix només amb una part de les dades disponibles. Normalment s'utilitzen dos terços de les dades per construir el model (mostra d'aprenentatge) i l'altre terç es reserva per comprovar si dóna bons resultats (mostra de validació). En el nostre cas, la mostra d'aprenentatge s'ha compostat per un total de 1.628 pacients (66,07%) i la de validació per 836 pacients.

Sensibilitat i especificitat del model

La mostra de validació es pot utilitzar per construir una taula (Figura 4) amb les categories creuades de les respostes observades en els pacients (ha tingut o no ha tingut complicacions) i de les respostes previstes pel model en funció del valors dels factors de risc.

		El model preveu que...	
		Tindrà complicacions	No tindrà complicacions
Realment...	Ha tingut complicacions	Verdader positiu VP	Fals negatiu FN
	No ha tingut complicacions	Fals positiu FP	Verdader negatiu VN

Figura 4: Classificació dels valors previstos en funció dels observats

A partir dels valors d'aquesta taula es poden definir els següents indicadors, referits a la capacitat de predicció del model:

- *Sensibilitat*: Proporció de verdaers positius que són estimats positius

$$Se = \frac{VP}{VP + FN}$$

- *Especificitat*: Proporció de verdaers negatius que són estimats negatius

$$Sp = \frac{VN}{VN + FP}$$

Cal tenir en compte que el valor obtingut per cada un d'aquests indicadors dependrà del llindar escollit per l'assignació de la resposta com a positiva (tindrà complicacions) o negativa (no les tindrà). Per exemple, si s'utilitza un llindar molt baix la resposta quasi sempre serà positiva i, per tant, la sensibilitat serà alta (cosa que interessa) però la especificitat serà baixa. Per altra banda, si el llindar és alt tindrem una sensibilitat baixa i una especificitat alta.

La relació entre sensibilitat i especificitat en funció del llindar es representa mitjançant l'anomenada corba ROC (de l'anglès *Receiver Operating Characteristic*). A la Figura 5 podem trobar tres situacions possibles de corba ROC:

- La corba ROC està formada per dues rectes, una seguint l'eix de les y's i l'altra el de les x's. Aquesta corba conté un punt (extrem superior esquerra) que dona una sensibilitat del 100% i una especificitat també del 100% ($1 - \text{especificitat} = 0$) representat, per tant, una situació de discriminació perfecta.

- b) La corba representa una situació realista en la que es pot escollir un llindar que combini un bon valor tant de la sensibilitat com de l'especificitat. Finalment, a la
- c) Tenim una situació en què no es pot trobar un llindar que combini bons valors d'ambdues característiques. Aquesta situació correspon a un model que no té cap poder de discriminació.

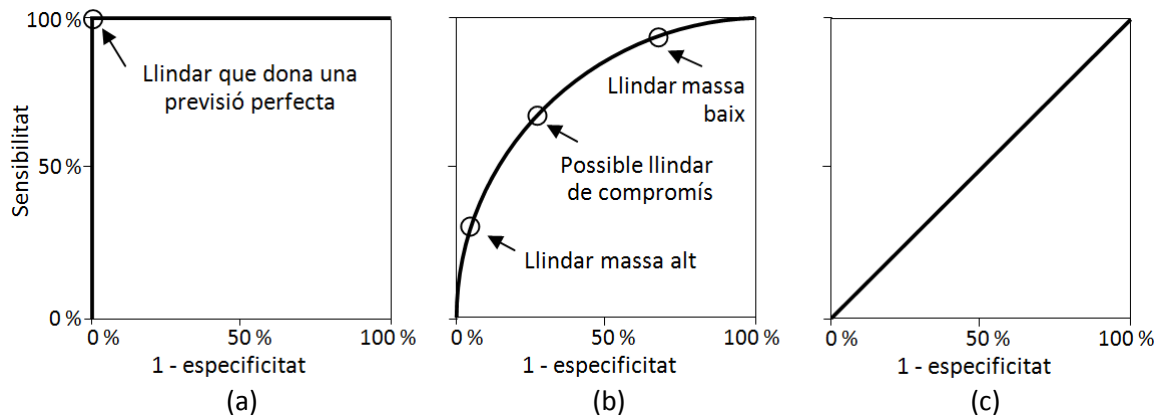


Figura 5: *Diferents aspectes de la corba ROC: Situació ideal que permet escollir un llindar que discrimina perfectament (a), situació realista (b) i situació en què el model no és útil (c)*

L'àrea que queda sota la corba ROC és una mesura de la capacitat predictiva del model. El valor màxim és 1, cas de la Figura 5 a) i el mínim és 0,5, Figura 5 c). Si l'àrea té un valor superior a 0,8 es considera que el model té una bona capacitat de predicció.

El model seleccionat dona un àrea sota la corba de 0,89. S'han provat també altres tipus de models però tenen una capacitat predictiva menor, o la tenen lleugerament superior però a costa de complicar considerablement el model i s'ha considerat que no val la pena introduir aquestes complicacions.

Conclusions

Els resultats de la modelització han permès trobar un conjunt de paràmetres útils per caracteritzar els pacients amb complicacions postoperatòries respiratòries (CPR) i poder predir la seva aparició a partir d'ells. La capacitat predictiva del model s'ha contrastat satisfactòriament en una mostra independent (mostra de validació).

El model resultant té com a predictors tant variables referents a la intervenció, com sobre l'estat de salut previ a la intervenció i les característiques del pacient. Les variables que influeixen en les CPR referents al pacient són el sexe i l'edat; pel que fa a l'estat de salut previ influeixen la MPOC, el diagnòstic oncològic i haver patit un procés respiratori agut durant l'últim mes. Finalment, sobre les variables relacionades amb la intervenció els predictors inclosos en el model són la urgència de la intervenció, la incisió i l'escala d'agressivitat quirúrgica.

Cal tenir present que la població d'estudi és molt diferent de les dels estudis previs, per la qual cosa és difícil comparar els resultats. Tot i així, alguns dels factors predictius identificats ja estaven descrits prèviament en la literatura científica. La principal novetat que aporta aquest model és l'aparició del procés respiratori agut durant l'últim mes com a factor predictiu de complicacions postoperatòries respiratòries en la població adulta catalana.

(Projecte de la Llicenciatura d'Estadística, presentat el febrer de 2008 amb el títol: "Factores predictivos de complicaciones postoperatorias respiratorias en la población quirúrgica: un estudio de Cohortes (ARISCAT 2006)")

Dissenyar la recollida i l'anàlisi de les dades de forma que permeti obtenir la informació que interessa (en altres paraules: "fer servir l'estadística") és sempre important. I encara ho és més quan a partir d'aquesta informació es prendran decisions de les que pot dependre la vida d'una persona.



Zahara Briones va obtenir la Llicenciatura de Matemàtiques a la UB i la Llicenciatura d'Estadística a la UPC. Mentre estudiava matemàtiques va fer una estada com a estudiant Erasmus a la Universitat de Bielefeld (Alemanya) i mentre estudiava a la UPC va treballar amb un conveni de cooperació educativa a Editorial Planeta. El seu interès per l'estadística recau principalment en la bioestadística, motiu pel qual va treballar en l'estudi ARISCAT (el seu projecte es basa en aquest treball). Actualment està treballant a Viena a una gran multinacional dedicada a les assegurances.

Entre moltes altres habilitats, la Zahara parla perfectament l'alemany.

Prensa i televisió

14

Anàlisi de patrons i tendències en les votacions del festival d'Eurovisió

Projecte realitzat per: **Laura Marí Tomàs**
Dirigit per: **Lluís Marco Almagro**

Cada mes de maig se celebra el festival de la cançó d'Eurovisió. Tot i que hi hagi gent que el consideri un programa kitsch i amb poc interès, pocs esdeveniments no esportius reuneixen tants milions de persones cada any davant de la televisió.

El festival és un filó de frases tòpiques que es poden anar repetint mentre es mira el programa: “guanyarà Suècia, perquè els països nòrdics es voten entre ells”, “la cançó de França és bona, però no guanyarà perquè ha actuat en tercer lloc, i la gent no vota les primeres cançons perquè no les recorda”, “per guanyar és millor que et votin molts països, tot i que et donin pocs punts”... Però, què hi ha de cert en tot això?

L'estadística s'ocupa de respondre preguntes, però basant-se en dades, i no en opinions poc fonamentades. Per això els feia il·lusió mirar les puntuacions d'uns quants anys del festival d'Eurovisió (o sigui, fer servir les dades) i, utilitzant eines estadístiques descriptives (bàsicament gràfiques que estiguessin ben pensades), comprovar si alguns d'aquests tòpics tan reiteratius són certs o no. També se'ls va acudir alguna cosa una mica més sofisticada, com simular el que van anomenar 'festival aleatori' per comparar-lo amb el real... Però anem a pams.

Una mica d'història i la nostra matèria primera: les dades!

La primera edició del festival d'Eurovisió es va celebrar a Lugano, Suïssa, el 1956, i van participar només 7 països. Va néixer inspirat en el festival italià de la cançó de Sant Remo. Durant les primeres dues dècades de festival el número de països participants es va anar incrementant (Espanya va fer el seu debut l'any 1961), alhora que el sistema de puntuació es va modificar unes quantes vegades. L'any 1975 es va instaurar el sistema de votacions que encara es fa servir: cada país distribueix punts de l'1 al 8, 10 i 12, de manera que vota a 10 cançons diferents. Donat que el número de països participants creixia molt i feia el festival massa llarg, a partir de l'any 2004 es va incorporar una semifinal en la qual hi actuen uns 20 països. D'aquests, aproximadament la meitat passen a la final, on actuen entre 22 i 24 països. De fet, l'any 2008 es va afegir una segona semifinal.

Aquest estudi s'ha centrat entre els anys 1975 i 2003: en tot aquest període el sistema de puntuacions i la mecànica del concurs s'ha mantingut estable. Són 29 anys, suficients per comprovar si són certs o no alguns dels tòpics, i per detectar patrons de comportament entre països. Certament, hi ha hagut algunes innovacions, com la substitució progressiva del jurat pel televot dels espectadors (via trucades o missatges de mòbil) a partir del 1996. Es tindrà en compte aquest fet en l'anàlisi de les dades.

Taula 1: Part d'una taula amb les puntuacions de l'any 1975

		PAÍS QUE DÓNA ELS VOTS							
		<i>Belgium</i>	<i>Finland</i>	<i>France</i>	<i>Germany</i>	<i>Ireland</i>	<i>Israel</i>	<i>Italy</i>	<i>Luxemburg</i>
PAÍS QUE REP ELS VOTS	<i>Belgium</i>	0	0	0	7	0	0	0	0
	<i>Finland</i>	0	0	0	12	5	8	0	6
	<i>France</i>	2	0	0	0	12	7	8	0
	<i>Germany</i>	0	0	0	0	0	0	0	8
	<i>Ireland</i>	12	1	6	0	0	0	4	0
	<i>Israel</i>	1	3	1	1	1	0	2	1
	<i>Italy</i>	6	12	4	4	6	5	0	3
	<i>Luxembourg</i>	0	5	3	0	10	6	10	0
	<i>Malta</i>	7	0	8	0	0	1	0	5
	<i>Monaco</i>	0	2	0	3	0	2	5	4
	<i>Netherlands</i>	3	10	5	8	8	12	1	10
	<i>Norway</i>	0	0	0	0	0	0	7	0

Alemanya dóna a Itàlia 4 vots

L'obtenció de les dades va ser més fàcil del que inicialment es pensava. Hi ha moltes pàgines web dedicades al festival, i és que hi ha molts eurofans! En concret es van extreure de la pàgina *esctoday.com*, que té taules com la Taula 1 per cada any de festival. A partir d'aquestes dades vam crear un document d'Excel on cada pestanya corresponia a un any, des de 1975 al 2003. Calia pensar com es podien ajuntar les dades de tots els anys. No és una bona idea sumar simplement els punts totals que un país A ha donat a un país B en tots els anys, perquè no tots els anys han participat els mateixos països. Així, cal esperar que França hagi donat en total bastants més punts a Regne Unit que a Marroc, perquè França i Regne Unit han coincidit pràcticament sempre, però el Marroc només va participar una vegada (el 1980, i sense massa èxit).

Així, van crear una nova taula que deia, per cada parella de països possibles, quants anys havien coincidit. Finalment, es va dividir el número de punts totals que un país A ha donat a un país B entre el número de vegades que els dos països han coincidit en el festival. Així tenim la mitjana de punts que el país A ha donat al B tots els anys que això ha estat possible. En el cas de països que no han coincidit mai s'ha posat un *. La Taula 2 mostra un tros d'aquesta taula.

Taula 2: Part de la taula amb les puntuacions promig

		PAÍS QUE DÓNA ELS VOTS				
		<i>Croatia</i>	<i>Cyprus</i>	<i>Denmark</i>	<i>Estonia</i>	<i>Finland</i>
PAÍS QUE REP ELS VOTS	<i>Denmark</i>	1,71	1,94	0	5,20	2,56
	<i>Estonia</i>	1,44	1,75	6,40	0	8,40
	<i>Finland</i>	0	1,06	0,50	4,40	0
	<i>France</i>	1,54	3,1	2,48	3,78	3,87
	<i>FYR Macedonia</i>	6,67	1,67	0	0	0,33
	<i>Germany</i>	2	2,40	5,18	1,88	2,87
	<i>Greece</i>	2,22	10,75	1,06	0,86	1,89
	<i>Hungary</i>	1,75	0	0	3	6
	<i>Iceland</i>	1,22	1,64	4,38	3,86	0,73
	<i>Ireland</i>	3,50	4,74	5,55	4,50	3,86
	<i>Israel</i>	1,50	2,59	2,32	1,83	5,10
	<i>Italy</i>	5	4,60	1	0	7,19
	<i>Latvia</i>	0,50	1,67	5	9,25	9
	<i>Lithuania</i>	0,50	1,67	0	1	0
	<i>Luxembourg</i>	0	2,67	2	*	2,89

Xipre dona a Itàlia,
en promig, 4,6 vots

Anàlisi descriptiva dels patrons de votació

L'objectiu de l'anàlisi descriptiva d'aquestes dades és treure informació sobre les puntuacions fent servir eines gràfiques. Bàsicament, s'han fet servir diagrames bivariants ja que permeten esbrinar quina relació hi ha entre dues variables.

Relacions entre països

A la Figura 1 cada cercle representa els punts que, en mitjana, un país A ha donat a un país B, en funció de les vegades que han coincidit¹. A mesura que incrementen els anys coincidits, la dispersió es va reduint. Destaquen els dos punts rodejats amb un cercle. Es tracta de la parella de països Grècia i Xipre. El què més sobta d'aquesta parella és que la mitjana dels punts que s'han donat en els 16 anys que han coincidit supera els 10 punts. O sigui, que es voten moltíssim entre ells.

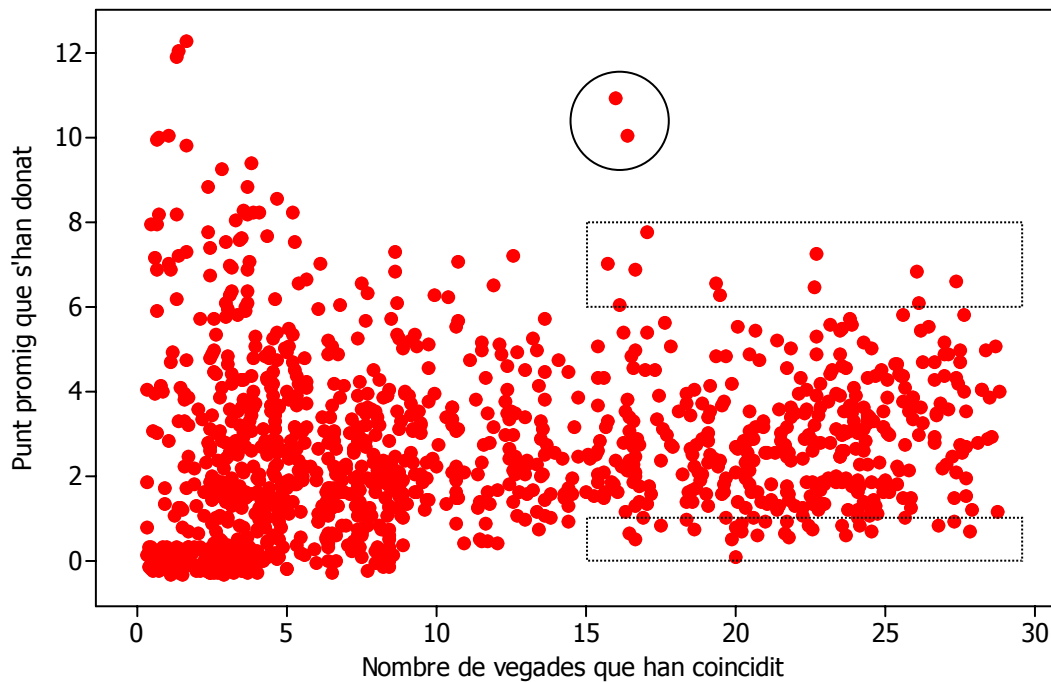


Figura 1: Diagrama bivariant dels punts promig que un país ha donat a l'altre respecte el nombre de vegades que han coincidit. Els requadres corresponen a les zones que es mostren ampliades en figures posteriors

¹ Per evitar que els punts que tenen les mateixes coordenades quedin superposats i es perdi la visió de la densitat (cosa que passa sovint quan en els dos eixos les variables són discretes), el programa amb què s'han fet aquests gràfics (MINITAB) permet activar una opció que mou lleugerament els punts perquè no quedin superposats. D'aquesta manera, tot i que es perd precisió en les coordenades dels punts, es guanya en claredat.

Si ens concentrem només en algunes zones especialment rellevants del gràfic de la Figura 1 com per exemple els països que han coincidit més de 15 vegades, i que s'han donat una mitjana de punts per sobre de 6, es pot veure que amb mitjanes de puntuacions donades per sobre de 7 estan els punts que Portugal ha donat a Itàlia, Finlàndia a Itàlia, Espanya a Itàlia i Dinamarca a Suècia (veure ampliació, Figura 2). En aquest gràfic no apareix la relació d'amistat entre Grècia i Xipre, donat que l'escala vertical de la gràfica només arriba fins a 8).

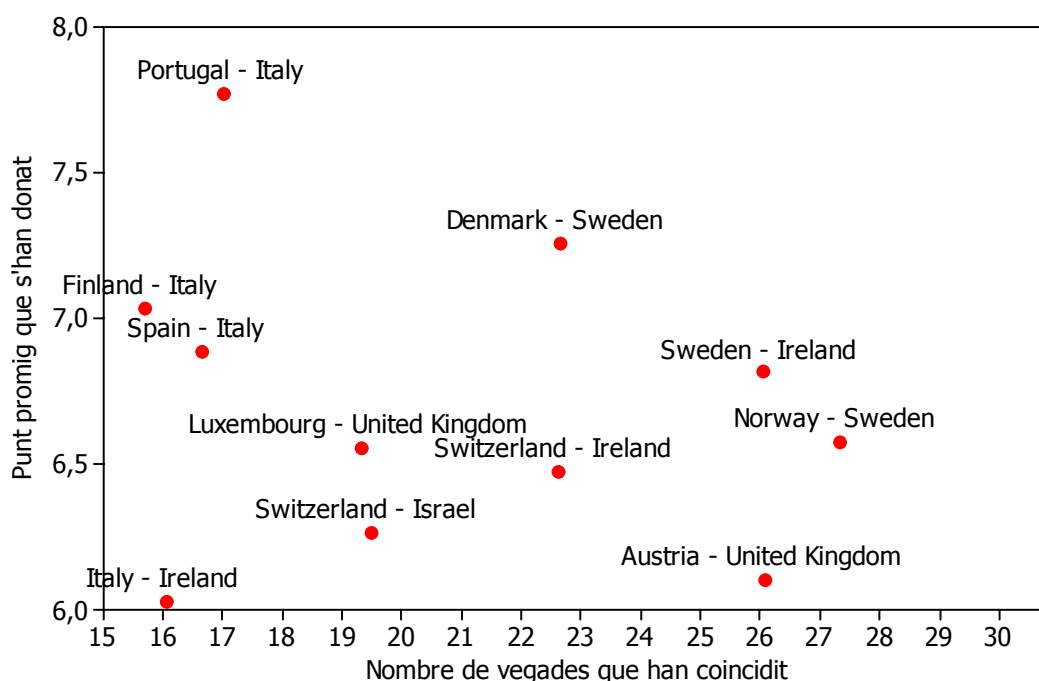


Figura 2: Diagrama bivariant de la "zona amiga" (zona on hi ha països que han coincidit molts cops i que s'han votat força vegades)

Una altra manera de mostrar relacions d'amistat entre països és comprovant de quina manera es reparteixen els vots. Hi ha 10 tipus diferents de vots (de l'1 al 12, excloent el 9 i l'11). Més endavant es veurà que els països guanyadors obtenen moltes valoracions de 10 i 12 punts. Centrem-nos, doncs, en com es reparteixen els països les puntuacions de 12. El gràfic de la Figura 3 està construït de la següent manera: el gruix de les línies és proporcional al nombre de vegades que un país ha donat 12 punts a un altre; les línies negres mostren relacions en un sol sentit (i el sentit s'indica amb una fletxa), mentre que les línies vermelles denoten relacions recíproques. La relació d'amistat entre Grècia i Xipre es fa molt evident. Hi ha relacions recíproques entre Dinamarca i Suècia, Suècia i Noruega, Suècia i Irlanda, Irlanda i Itàlia, França i Portugal i, finalment, Alemanya i Turquia. Es podria intentar buscar justificacions a aquestes relacions. La

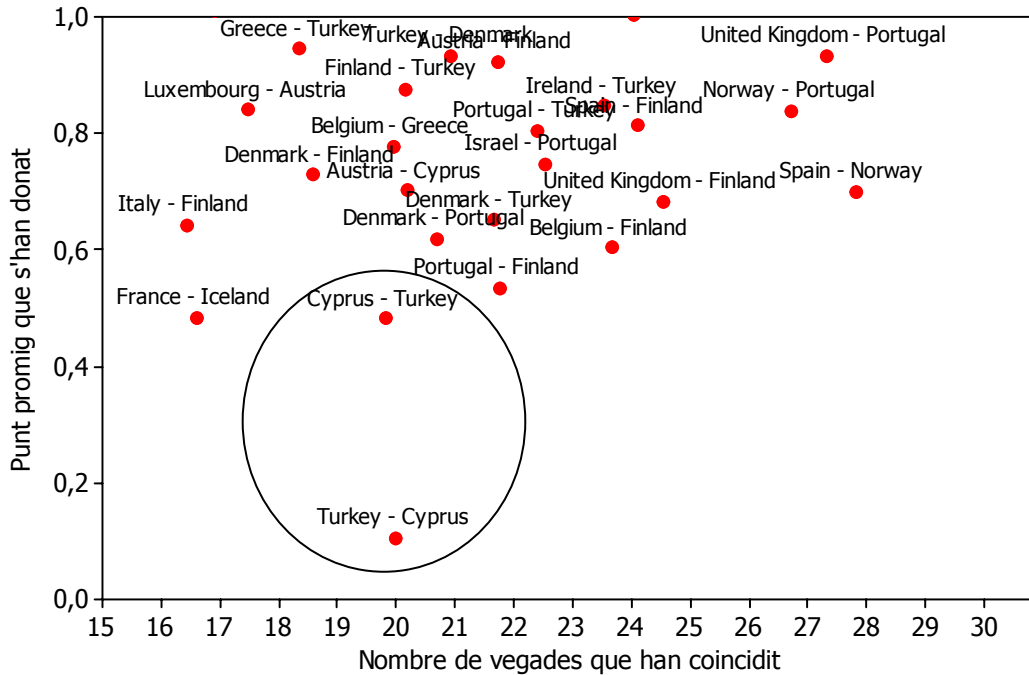


Figura 4: Xipre i Turquia es donen molts pocs vots

La Figura 5 posa de manifest com el Regne Unit té inèrcia a donar pocs vots a Espanya i Portugal. També s’observa que Espanya i Regne Unit, Suècia i Noruega, tot i que han participat molts cops junts (28 o 29 anys), s’han donat molt pocs punts. Tampoc no s’han votat massa entre ells Espanya i Portugal o Espanya i França (no sembla que Espanya tingui veïns que l’estimin massa...).

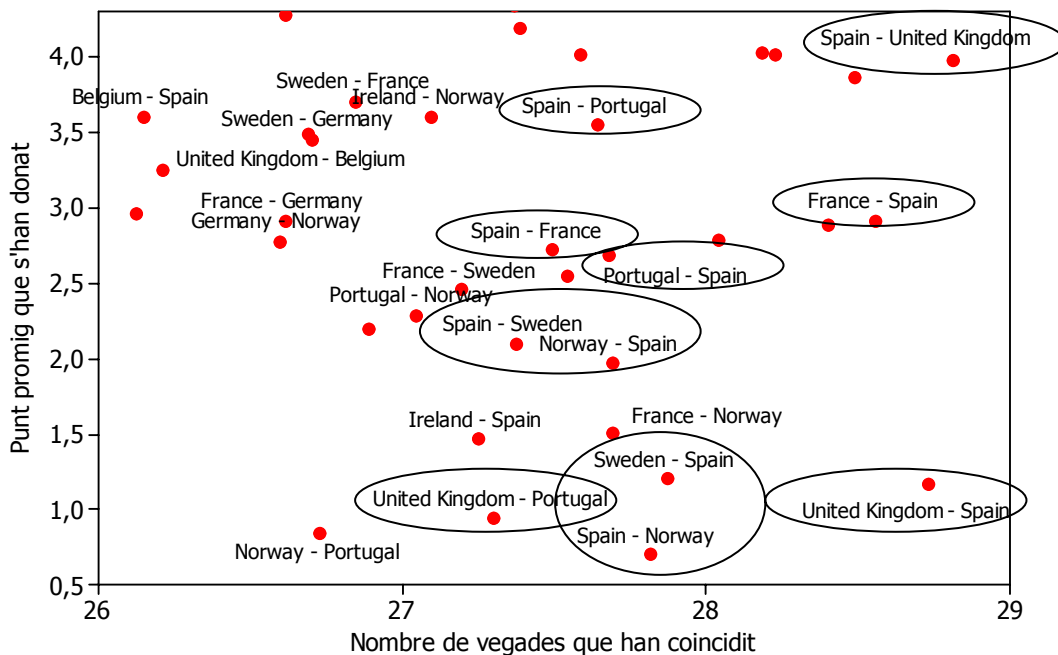


Figura 5: Països que no es voten massa entre ells

I per acabar amb aquest tema de la relació entre països, la Figura 6 mostra un diagrama bivariant on a l'eix horitzontal es representen el promig de vots que un país dona a un altre, i a l'eix vertical el promig de vots que un país rep d'un altre. El degradat de colors indica el nombre d'anys que cada parella de països ha coincidit al Festival.

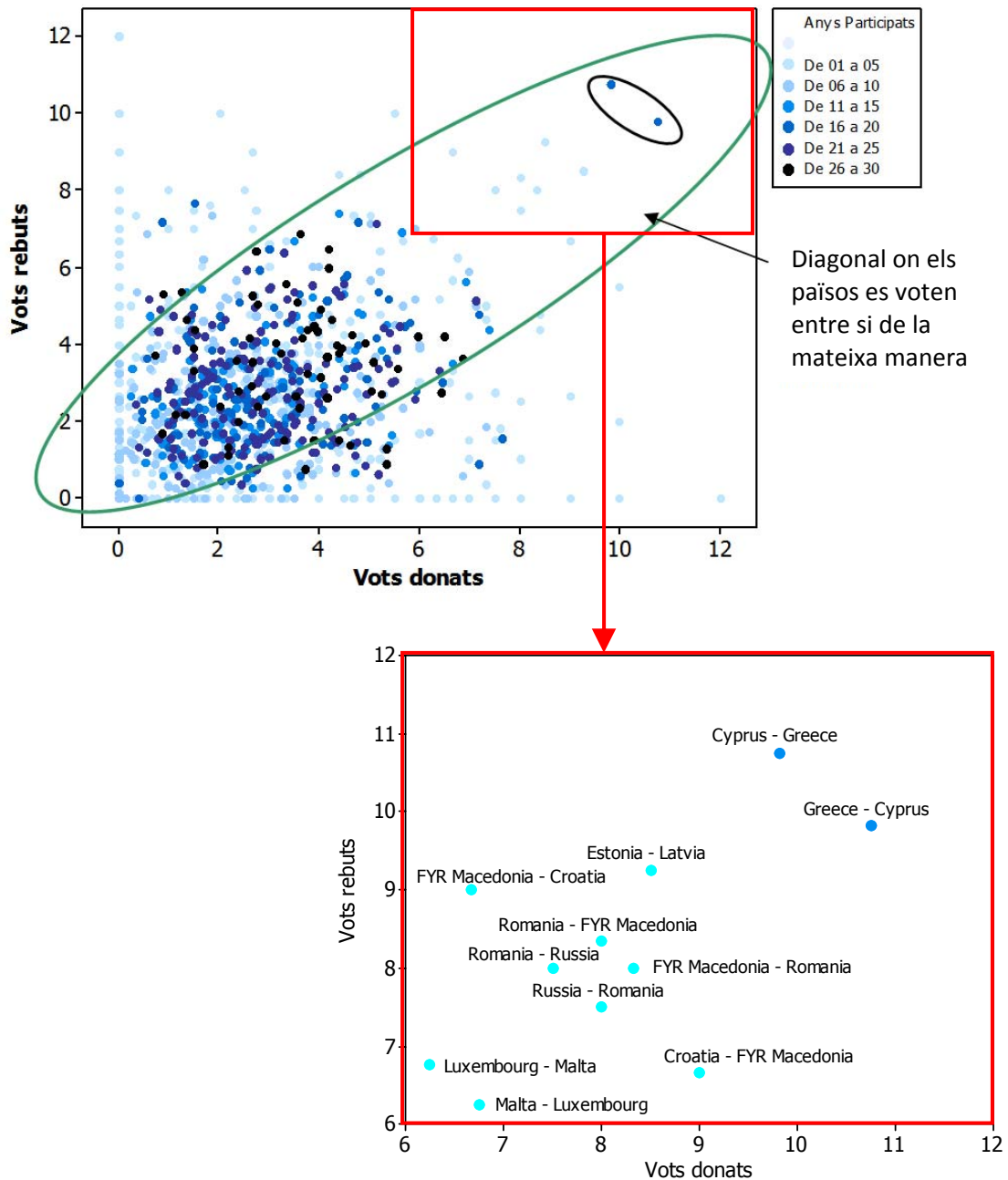


Figura 6: Diagrama bivariant amb els vots donats i rebuts per cada país a la resta

El gràfic és, com es pot veure, simètric. La parella emmarcada en negre és la de Grècia i Xipre. La zona de la diagonal són parelles de països que es voten entre ells i, a més, ho fan d'una manera similar. A la part dreta de la gràfica hem ampliat la zona emmarcada, on els països s'han donat més de 6 vots en promig.

La creació del festival aleatori

Recordem que l'objectiu era comprovar si al festival hi ha patrons de comportament no aleatoris en les puntuacions que es donen els països. És a dir, hi ha països que es voten entre ells més del que caldria esperar si les puntuacions es distribuïssin aleatòriament? Per tal de veure-ho es va crear una distribució de referència de puntuacions entre països, simulant el que podrien haver estat les puntuacions dels festivals analitzats, si els punts s'haguessin distribuït a l'atzar. Aquest festival on els punts es distribueixen a l'atzar, que es va anomenar *festival aleatori*, es basa en la suposició de que totes les cançons del festival són igual de bones (o de dolentes). En aquest festival aleatori, algunes edicions un país votarà molt a un altre, però no ho farà sistemàticament. Fins fa uns anys aquest supòsit no era tan descabellat: els països acostumaven a presentar cançons molt similars, totes "festivaleres". Actualment això ja no és tan cert, i s'analitzarà amb més profunditat al final d'aquest estudi.

Aquesta idea de simular un festival aleatori va sorgir d'un article sobre Eurovisió publicat el 2005 per un grup de físics a la revista "Physica A: Statistical Mechanics and its Applications". L'article es titula *How does Europe Make Its Mind Up? Connections, cliques, and compatibility between countries in the Eurovision Song Contest*, i és molt interessant (de fet, és sorprenent fer una cerca en bases de dades científiques de la paraula "Eurovision", i comprovar que s'han escrit articles sobre el festival en revistes d'àrees ben diferents: sociologia, psicologia, física, matemàtiques...).

Com el festival es va fent cada cop menys aleatori

Abans de començar amb la simulació del festival aleatori (que després s'explicarà amb més detall) calia crear un índex que resumís el grau d'aleatorietat de les puntuacions d'un festival. Així, per cada any es va crear una taula que contenia el número de països que havien donat punts a cadascun dels països participants (Taula 3).

Taula 3: *Un tros de la taula per l'any 2003 amb el número de països que han donat vots a cada un dels països que han participat*

Països	Nombre de països que l'han votat
Austria	17
Belgium	22
Bosnia & Herzegovina	3
Croatia	6
Cyprus	3
Estonia	4
France	4
Germany	13
Greece	6
Iceland	16
Ireland	12
Israel	4

En un festival que fos totalment aleatori, cada país rebria, en mitjana, puntuacions d'uns altres 10 països, i això independentment del número de països que hi participessin. Efectivament, imaginem que un any qualsevol participen N països. Un país A podrà ser votat, com a molt, per $N-1$ països (un país no es pot votar a ell mateix). Cada país li pot donar al país A: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10 o 12 punts, o bé no votar-lo i donar-li per tant 0 punts. Per tant, la probabilitat de ser votat (de rebre punts) és la següent:

$$P(\text{ser votat}) = \underbrace{\frac{1}{N-1} + \dots + \frac{1}{N-1}}_{10 \text{ sumands}} = \frac{10}{N-1}$$

L'esperança matemàtica (la mitjana) del nombre de països que votaran a un determinat país és la següent:

$$\begin{aligned} E[\text{nombre de països que votaran}] &= \\ &= P(\text{ser votat}) \cdot \text{Nombre de països que poden votar} = \\ &= \frac{10}{N-1} \cdot (N-1) = 10 \end{aligned}$$

Per tant, el valor esperat del número de països que votaran a cadascun dels països participants és 10. Si el festival és molt aleatori, el nombre de països que han donat punts a cada un dels països no s'allunyaran molt de 10, i la desviació tipus (una mesura de la dispersió de les dades) de tots aquests valors serà petita. En canvi, imaginem que el festival és molt poc aleatori, i un país té molt èxit i rep punts de tots els països, i un altre país té un gran fracàs, i no el vota cap país. Necessàriament la desviació tipus serà, aleshores, més gran.

La Figura 7 mostra com aquesta desviació tipus ha anat augmentant al llarg dels anys. Aquest és un resultat sorprenent: a partir de mitjans dels anys 1990, quan es comença a introduir el televot i són els espectadors els que escullen les seves cançons preferides i no pas un jurat, el festival comença a fer-se menys aleatori, i cada cop es detecten més patrons de votació entre països. Es veurà amb més claredat en el següent apartat.

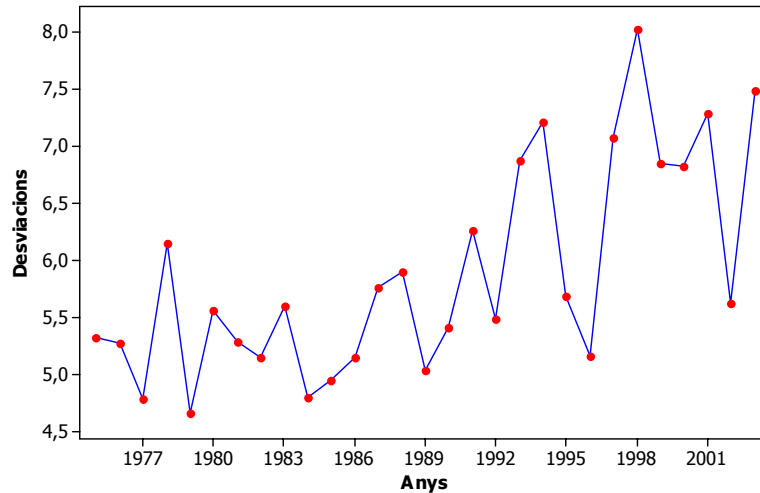


Figura 7: Gràfic de sèrie de temps de l'evolució de la desviació tipus del nombre de països que han votat als altres països participants al llarg dels anys

Simulació del festival aleatori

Com abans hem dit, per simular un festival aleatori s'ha de suposar que la qualitat de les cançons no influeix en les votacions. En una edició del festival, la probabilitat de ser votat per un país (sense tenir en compte quants punts et donen) és $10/(N - 1)$, on N és el número de països que participen en aquella edició. En aquest festival aleatori, igual que en real, és més probable no rebre cap punt d'un país, que no pas que un país et doni punts.

La probabilitat de ser puntuat en qualsevol dels 10 possibles valors (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10 i 12) és $1/(N_i - 1)$, on N_i és el nombre de països participants en l'any i -èssim. Per exemple, si un any participen 24 països la probabilitat d'obtenir vots d'un altre país és 0,0435. La probabilitat de rebre 0 punts és $1 - [10/(N_i - 1)] = 0,565$. Per cada edició del festival (del 1975 al 2003) podem crear-nos una taula amb les probabilitats de rebre cadascuna de les puntuacions (aquestes probabilitats varien segons el número de països participants aquell any).

Què s'ha fet a partir d'aquí? Per cada parella de països A i B s'han simulat 10.000 possibles valors de votacions del país A cap al B en les edicions dels festivals de 1975 a

2003 (és a dir, 10.000 conjunts de 29 valors, corresponents a les que podrien haver estat 10.000 puntuacions dels 29 anys de festival). Aquestes votacions simulades es van generar a partir de les probabilitats de cada any. Evidentment, en algunes edicions els dos països A i B poden no haver participat simultàniament. En aquestes edicions no hi haurà votacions de A cap a B. Finalment, el que s'obté són valors possibles de la mitjana de punts que el país A ha donat al B durant períodes de 5 anys (s'ha decidit agrupar les dades en els períodes: 1975 a 1979, 1980 a 1984, 1985 a 1989, 1990 a 1994, 1995 a 1999 i 2000 a 2003). Igualment, s'ha calculat per cada parella de països la mitjana de punts de en cada període d'anys que el país A ha donat realment al país B.

Tot aquest procés, tan ràpid d'explicar, ha estat molt costós de fer. Van fer servir macros d'Excel per simular les puntuacions i calcular les mitjanes d'anys. Però hi havia tants anys i tantes parelles de països que tenien problemes de capacitat de memòria, i les macros d'Excel eren tan lentes d'executar que calia deixar ordinadors encesos durant la nit per tal que anessin calculant. Finalment, però, ho van tenir tot calculat. I ja estaven, aleshores, en disposició de comprovar quins països es votaven entre ells exageradament, molt més del que "tocaria".

Detecció de patrons de votació

Com decidir si el país A ha votat al país B molt més del que seria raonable esperar durant un període d'anys? Amb totes les mitjanes de punts del país A al B simulades per aquell període s'ha dibuixat un histograma. A aquest histograma se'l pot anomenar distribució de referència. Per altra banda, també es disposa del valor real de la mitjana de punts que el país A ha donat al B en aquell període d'anys. Aquest valor real l'anomenarem estadístic de prova. El que cal fer ara és enfrontar l'estadístic de prova a la distribució de referència. És a dir, veure per on cau el valor real de punts sobre l'histograma de puntuacions possibles.

Si el valor real cau pel mig de l'histograma (com passa a la Figura 10 amb la parella França-Itàlia), podem creure que aquest és un valor possible d'aquest histograma. Com que l'histograma mostra valors de puntuacions quan el festival és aleatori, sembla que França no ha votat de manera exagerada Itàlia durant aquests anys.

En canvi, quan el valor real queda molt a la dreta de l'histograma (com passa a la Figura 11 amb la parella Xipre-Grècia), no sembla raonable pensar que aquest valor tan alt sigui fruit de l'atzar. El que passa és que Xipre ha donat puntuacions molt més altes a Grècia del que es podria esperar si el festival fos aleatori. Realment, Xipre dona més vots dels que "toquen" a Grècia.

Aquest procés es va repetir per totes les parelles de països (i en els dos sentits, és a dir, els vots d'A cap a B i els de B cap a A), i per tots els períodes d'anys. S'han seleccionat

aquelles parelles de països (A-B) que en un període d'anys tenien un valor promig de puntuació que deixava només un 5% o menys de valors simulats per sobre del valor real (és a dir, que la cua cap a la dreta de la distribució de referència era inferior al 5%). D'això se'n diu treballar amb un nivell de significació del 5%: valors com el nostre valor real o més grans, però que siguin fruit de l'atzar, només els trobem un 5% de les vegades. La nostra aposta de dir que no és fruit de l'atzar, sinó que el país A ha votat més del que "tocava" al país B és, per tant, bastant raonable.

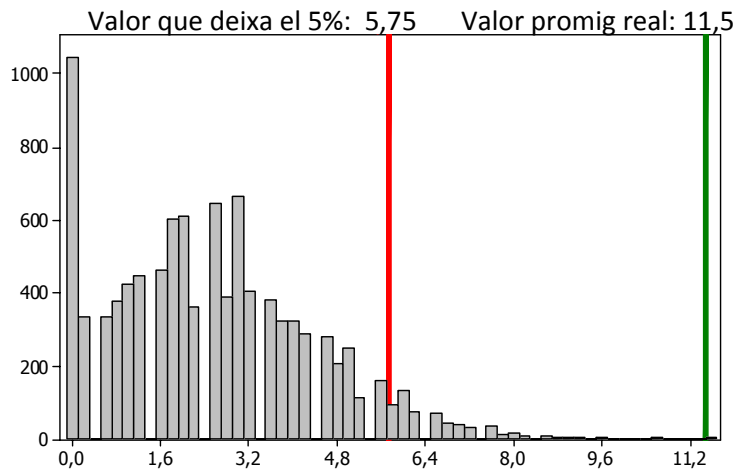


Figura 8: Histograma dels valors promitjos simulats per a la parella Xipre-Grècia (anys 1995-1999)

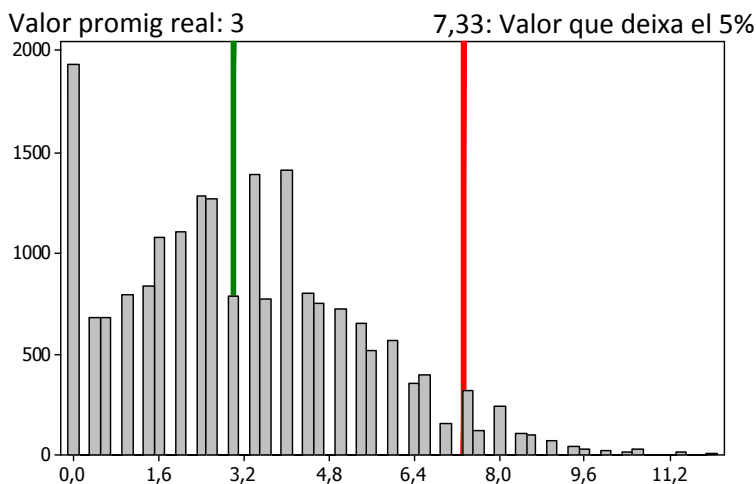


Figura 9: Histograma dels valors promitjos simulats per la parella França-Itàlia (anys 1980-1984)

Les gràfiques de la Figura 10 mostren les parelles de països que recíprocament s'han votat de manera exagerada (amb un nivell de significació del 5%) en cada període d'anys. Algunes parelles són molt fidels, com la de Grècia i Xipre; altres són més volàtils. El que sí es pot veure amb claredat és que, a mesura que passen els anys, cada cop apareixen més països, i més relacions d'amistat entre ells. El festival és cada cop menys aleatori, un fenomen que ja s'havia detectat en observar la desviació tipus dels països que han havien donat vots a cada un dels participants.

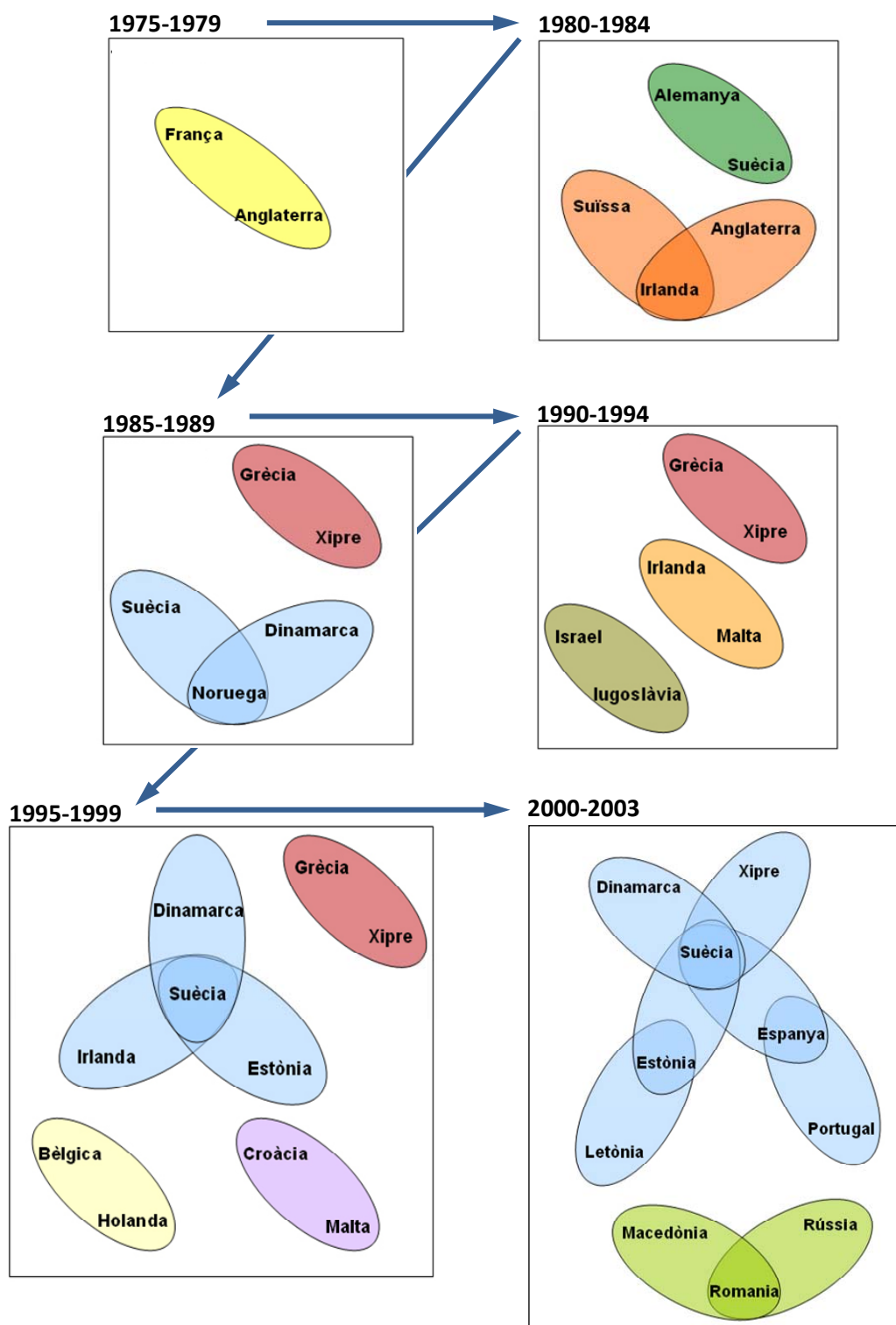


Figura 10: Diagrames amb les parelles de països que es voten recíprocament més del normal d'una manera significativa durant períodes de 5 anys en 5 anys entre el 1975 i el 2003

Alguns tòpics del festival d'Eurovisió: veritat o mentida?

La motivació que va animar a l'autora del projecte i el seu director a fer aquest projecte va ser descobrir si són veritat o mentida alguns tòpics que any rere any es van reiterant sobre el festival d'Eurovisió. Aquests són:

Els països nòrdics es voten entre ells?

Abans de respondre a aquesta pregunta cal definir quins són els països nòrdics. S'han considerat països nòrdics: Noruega, Finlàndia, Suècia, Dinamarca i Islàndia. S'han fet servir els resultats de la simulació del festival aleatori per comprovar si les parelles de països nòrdics s'han votat més del que caldria esperar, amb una significació del 5%.

A la Taula 4 es pot veure els períodes d'anys en què aquests països han participat i les parelles més rellevants que han sortit. El primer període (del 1975 al 1979) no apareix degut a que en aquell període no ha sortit cap parella. Finlàndia no ha aparegut en cap període d'anys relacionada amb cap altre país nòrdic.

Taula 4: Taula amb les parelles nòrdiques més significatives a l'hora de donar-se els vots

1980 - 1984	1985 - 1989	1990 - 1994	1995 - 1999	2000 - 2003
	Dina > Nor			
Dina > Sue	Dina > Sue		Dina > Sue	Dina > Sue
	Isla > Dina		Isla > Dina	Isla > Dina
			Isla > Nor	
	Nor > Dina			Nor > Dina
				Nor > Isla
Nor > Sue	Nor > Sue		Nor > Sue	Nor > Sue
	Sue > Dina		Sue > Dina	Sue > Dina
		Sue > Isla	Sue > Isla	
	Sue > Nor			Sue > Nor

Nor: Noruega, Sue: Suècia, Dina: Dinamarca, Isla: Islàndia

Aquells països que han tingut una relació recíproca de votacions (encara que sigui en períodes diferents) apareixen dibuixats amb diagrames de Venn a la Figura 11.

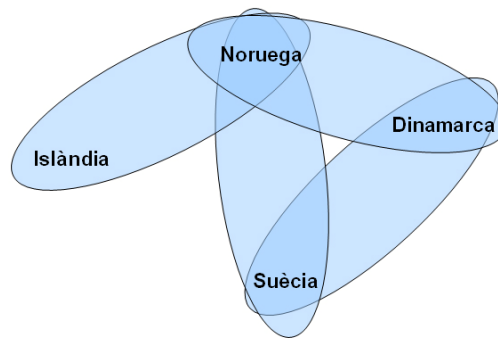


Figura 11: Països nòrdics que es voten entre ells (relacions recíproques)

Si Islàndia no aparegués (i de fet la relació entre Islàndia i Noruega és feble, només apareix en un període d'anys en cada sentit), es podria concloure que hi ha com un "pacte" de tres països que es voten entre ells d'una manera exagerada. Aquests tres països són Dinamarca, Suècia i Noruega. Per tant, es pot concloure que és cert que certs països nòrdics es voten entre ells.

Grècia i Xipre es voten entre ells?

Ja s'ha vist en altres apartats que aquests dos països es voten entre ells de manera molt descarada. La següent taula ens ho mostra de forma clara: a la Taula 5 podem veure els vots que s'han donat Grècia i Xipre i a l'inrevés al llarg dels 16 anys que han participat conjuntament. Amb un color més fosc es destaquen les vegades que els dos països s'han donat les puntuacions màximes (un total de 6). Amb un color més claret es destaquen les edicions en què s'han intercanviat 10 i 12 punts. En la resta d'anys (color blanc) les puntuacions que s'han donat no són gens dolentes, encara que a l'any 1983 Grècia no li donés cap vot a Xipre.

Taula 5: Taula amb els vots que Grècia i Xipre s'han donat

Any	Grècia - Xipre	Xipre - Grècia
1981	12	6
1983	0	12
1985	8	8
1987	12	12
1989	7	12
1990	6	6
1991	12	10
1992	10	12

Any	Grècia - Xipre	Xipre - Grècia
1993	10	12
1994	12	12
1995	8	12
1996	12	10
1997	12	12
1998	12	12
2002	12	12
2003	12	12

Si s'analitzessin les cançons presentades per aquests dos països, l'intercanvi de vots es rebel·laria encara més escandalós. L'any 2002, per exemple, Grècia va presentar la cançó "S.A.G.A.P.O.", una cançó demencial interpretada per Mihalis Rakintzis (que per altra banda és un cantant famós al seu país). Tot i que podia rebre vots de 23 països, 19 d'ells li van donar 0 punts, però Xipre el va votar amb 12 punts. Recordem, en canvi, que Xipre no vota gairebé mai a Turquia, com hem pogut veure a la Figura 4 (i encara menys vota Turquia a Xipre).

Les votacions més altes s'aconsegueixen els últims anys, des que està implantat el sistema del televot. Es tornarà a aquest tema a les conclusions d'aquest article.

Actuar cap al final del festival afavoreix de cara a guanyar?

Aquesta és una afirmació feta sovint pels comentaristes espanyols del festival (especialment per Beatriz Pecker, que va presentar el festival del 2004 al 2007 substituint al mític José Luis Uribarri qui, per cert, el va tornar a comentar el 2008).

La Figura 12 mostra un diagrama de punts de la posició en què han actuat els països guanyadors. Es pot veure com no té cap relació la posició de sortida amb el fet de ser guanyador del festival o no.

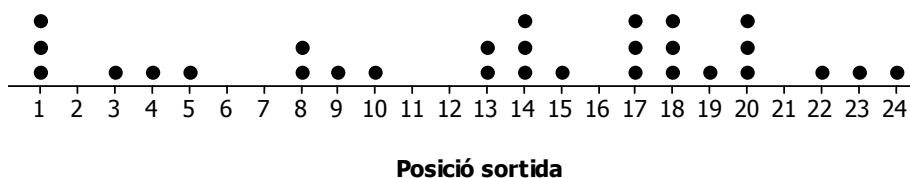


Figura 12: Diagrama de punts amb les posicions de sortida dels guanyadors dels festivals

Conclusions

L'afició tant de la Laura (que va fer aquest projecte) com del Lluís (que el va dirigir) pel festival d'Eurovisió és el que els va animar a realitzar aquest estudi. La seva idea era analitzar les dades (o sigui, fer servir l'estadística) per confirmar o desmentir algunes creences al voltant del festival.

Per comprovar com es voten els països entre ells van crear aquest artifici del festival aleatori, que els va permetre veure quins països es donen punts de forma exageradament alta. Aquesta part del projecte és maca, perquè fa servir conceptes

emprats sovint en estadística (la distribució de referència i el nivell de significació), però d'una forma una mica diferent a l'habitual.

L'estudi ha demostrat que sí que hi ha grups de països que es voten entre ells, i que és molt més fàcil guanyar el festival si pertanys a un d'aquests grups. En fer servir dades fins el 2003 no han aparegut "pactes" entre països de l'Est d'Europa, però segurament si s'actualitzés el projecte amb les dades dels últims anys, aquests països també apareixerien en les relacions d'amistat. És curiós observar com la introducció del televot a partir de començaments del segle XXI ha incrementat moltíssim els patrons de votació que es van repetint any rere any.

Si no pertanys a un grup de països amb "amics" que et voten, probablement la millor estratègia per guanyar sigui presentar una cançó que sorprengui, o que sigui ben excèntrica. Això és el que va fer Finlàndia l'any 2006 amb Lordi, on un grup heavy amb els intèrprets disfressats de monstres van guanyar amb la major puntuació de la història del festival. Potser la idea d'Espanya de presentar Rodolfo Chikilicuatre (any 2008) amb el seu "Baila el chiki-chiki" no era, per tant, dolenta. De fet va quedar en posició 16 de 24 (per davant de D'Nash l'any 2007, que van quedar en posició 20; de Las Ketchup que van quedar en posició 21 l'any 2006, o de Son de sol, també en posició 21 l'any 2005).

(Projecte de la Diplomatura d'Estadística, presentat el juliol de 2006 amb el títol "Anàlisi de patrons i tendències en les votacions del festival d'Eurovisió")

Exemple perfecte d'anàlisi de dades utilitzant tècniques fàcils d'entendre amb rigor, creativitat, enginy i sentit de l'humor. Què més es pot demanar?



Laura Marí va fer la Diplomatura d'Estadística i també la Llicenciatura i el Màster en Estadística i Investigació Operativa a la UPC. Mentre estudiava la llicenciatura va treballar en pràctiques en una empresa d'estudis de mercat (TNS, Taylor Nelson Sofres). Li encanta la informàtica i és una programadora experta. Ara està treballant al Departament d'Estadística i Investigació Operativa de la UPC en el 'Grup d'Optimització Numèrica i Modelització' dins d'un projecte de recerca del *Ministerio de Ciencia y Tecnología* sobre modelització i optimització del mercat elèctric.

15

L'estadística a la premsa. Estudi crític

Projecte realitzat per: **Sara Fontdecaba i Rigat**
Maria Montón i Domingo

Dirigit per: **Pere Grima Cintas**

Moltes vegades es parla de que s'usa l'estadística per presentar la realitat de la forma que més interessa en els mitjans de comunicació.

És això cert? Aquest projecte volia respondre a aquesta pregunta. Però naturalment no es podien tractar els mitjans de comunicació en general, i l'estudi es va centrar en el mitjà que era més fàcil d'analitzar: la premsa.

Després d'organitzar quins eren els aspectes a considerar (què calia mirar) i de fer un seguiment exhaustiu dels diaris estudiats durant uns tres mesos, es van detectar coses que es fan molt bé, i també d'altres que es poden millorar.

Els exemples trets del mateixos diaris en el període estudiat, que il·lustren els aspectes que s'han considerat, són una de les parts més interessants dels projecte.

Objectiu. Contingut

L'objectiu d'aquest projecte era realitzar una anàlisi crítica de l'ús que es fa de l'estadística a la premsa tot explorant aquest mitjà de comunicació durant un cert període de temps i prenent nota de tots els aspectes relacionats amb l'estadística. A més, també es volia fer una mena d'estadística de l'ús de l'estadística: quines tècniques es fan servir, i amb quina freqüència.

La primera decisió que es va prendre va ser de quins diaris es faria el seguiment. Una primera idea era fer-ho d'un conjunt ampli de diaris, incloent-hi també alguns de difusió gratuïta, però com que aquesta és una feina que comporta bastant temps finalment es van escollir els 3 diaris amb major tirada a Catalunya i que, a més, es van considerar que eren diaris seriosos: "El Periódico de Catalunya", "La Vanguardia" i "El País".

El període de temps durant el qual es va fer l'anàlisi més exhaustiva va ser d'uns 3 mesos, des de mitjans de desembre de 2005 fins a finals de març de 2006. Es va començar a treballar en el projecte des del mes d'octubre, però amb els estudis preliminars i les proves pilot que es van fer no es va poder iniciar l'estudi sistemàtic fins al mes de desembre.

Des de bon principi calia definir bé el que s'havia de buscar i quins criteris aplicar per la seva valoració. Per estructurar les idees es van consultar diversos llibres, i els que van resultar més útils van ser els de Darrell Huff: "How to Lie with Statistics" i el de Stephen K. Campbell: "Equívocos y falacias en la interpretación de estadísticas". Després d'una prova pilot que va durar aproximadament un mes, es van estructurar els aspectes a considerar i es va crear una base de dades per anar-los anotant. Per aquest resum s'han escollit els aspectes més rellevants (Figura 1) i s'ha seleccionat un exemple per il·lustrar cadascun d'ells.

Resum de dades	<ul style="list-style-type: none"> De què estem parlant Precisió adequada Compte amb els percentatges! No ignorar la variabilitat
Representacions gràfiques	<ul style="list-style-type: none"> Originalitat: els pictogrames Claredat Proporcionalitat Comparacions adequades Necessitat
Estudis basats en mostres	<ul style="list-style-type: none"> Representativitat Grandària Marge d'error

Figura 1: Aspectes considerats en aquest resum

Resum de dades

De què estem parlant?

Les dades perden valor si estan referides a un concepte ambigu. És més greu quan els termes utilitzats suggereixen un significat, però en realitat en tenen un altre.

En el titular “El 22% dels joves surten de nit sense supervisió dels pares” el terme “supervisió” té un significat poc clar. Alguns de nosaltres l’interpretaríem com que els pares han de conèixer els llocs i les persones amb qui aniran els seus fills, per altres serà que ho han de conèixer i a més han de donar el vist i plau, potser per algú supervisar implica acompanyar al fill i assegurar-se que no fa res de dolent. La interpretació de “supervisió” depèn del nivell d’exigència dels pares. I si són els joves els que han contestat l’enquesta, la seva interpretació de què vol dir supervisió segurament serà diferent a la interpretació dels pares.

Un altre tema és què s’entén per “jove” en el context d’aquest titular. Fins a 16 anys, 17, 18? Al text s’especifica que es va portar a terme el sondeig entre joves de 15 a 29 anys. Una persona de 28 o 29 anys, potser casat i amb fills, és realment una persona jove, però no el tipus de jove en el que pensem en llegir aquest titular.

 **El 22% dels joves surten de nit sense la supervisió dels pares**


des d’oci nocturn. El sondeig, inèdit fins ara, es va portar a terme entre joves de 15 a 29 anys. Un 67% dels consultats surten normalment les nits dels caps de setmana, davant d’un terç (32,1%) 

Figura 2: *El Periódico*, 30 gener 2006. Pàgina 26

Precisió adequada

El grau de precisió ha d’estar en sintonia amb els coneixements que es tenen sobre la mesura en qüestió.

El dissabte 10 de juny de 2006 es va fer una manifestació a Madrid en la qual el nombre de manifestants va ser un valor discutit (com en la majoria de manifestacions). Segons la Comunitat de Madrid eren un milió de persones. En canvi, segons el Govern, van ser exactament 242.923. Aquests càlculs s’acostumen a fer estimant la superfície de terra ocupada per manifestants i multiplicant cada metre quadrat pel nombre de

persones que es creu que hi ha. Però és impossible realitzar un càlcul com aquest amb gran exactitud, el realment important en aquests casos és l'ordre de magnitud. Cal remarcar que aquí la "falta" era del Govern, no de la Vanguardia que, pel que sembla, només va reproduir aquesta informació.

*La Comunidad de Madrid
habló de un millón de
personas, y el Gobierno
lo rebajó a la cifra exacta
de 242.923*



Figura 3: La Vanguardia, 11 juny 2006. Pàgina 22

Compte amb els percentatges!

Ha de quedar clara la base sobre la que es calcula el percentatge i, en realitzar operacions matemàtiques, cal ponderar cada terme pel seu pes.

El 28 de gener de 2006 es van publicar unes dades sobre l'evolució del mercat laboral estratificats per cada Comunitat Autònoma (Figura 4). El quadre que acompanya la informació indica el nombre d'aturats el 2005, la variació sobre el 2004 (per tant, podem deduir també les dades del 2004) i la variació, en percentatge, d'un any respecte l'altre. Entre d'altres, hi ha dos aspectes a remarcar:

1. No queda clar si la variació està calculada sobre les dades del 2005, que són les que apareixen, o sobre les del 2004, que segurament seria el més raonable.
2. En qualsevol cas, si calculem aquests percentatges amb les dades disponibles, els valors obtinguts no coincideixen ni amb un criteri ni amb l'altre. A part d'un problema de signe a Andalusia, hi ha diferències importants en el valor reproduït i el valor calculat amb les dades proporcionades, com a Catalunya o el País Basc. En algun cas, com per exemple Castella-La Manxa, el percentatge de variació és molt semblant al que surt respecte el 2005, però en d'altres (Comunitat Valenciana) és similar respecte al 2004.

Les dades d'atur i de variació estan arrodonides mentre que els percentatges es donen amb 2 decimals. Potser aquests percentatges s'han calculat amb les dades sense arrodonir, tot i que les diferències són massa grosses. Es diu que la font és l'INE, però no queda clar si de la taula o d'algunes de les dades (quines?, ja arrodonides?). Finalment, i ja posats, l'expressió "Muestreo no significativo" no té sentit. El mostreig pot ser insuficient o no representatiu, el que podria ser no significatiu és la diferència observada.

Evolució del mercat laboral

Fuente: INE

	PARADOS 2005	VARIACIÓN SOBRE 2004	VARIACIÓN EN %	% variació respecte al valor de 2004	
				2004	2005
Andalucía	485.300	29.000	-5,33 %	6,36	5,98
Aragón	34.100	-2.800	-8,84 %	-7,59	-8,21
Asturias	43.700	1.000	2,15 %	2,34	2,29
Baleares	37.000	-2.100	-5,25 %	-5,37	-5,68
Canarias	103.100	-19.000	-19,18 %	-15,56	-18,43
Cantabria	21.500	-3.800	-13,28 %	-15,02	-17,67
Castilla y León	96.300	-10.800	-9,41 %	-10,08	-11,21
Cast-La Mancha	80.900	9.700	11,66 %	13,62	11,99
Catalunya	239.000	-39.300	-12,14 %	-14,12	-16,44
C. Valenciana	183.300	-38.700	-17,22 %	-17,43	-21,11
Extremadura	69.600	-7.700	-9,64 %	-9,96	-11,06
Galicia	114.300	-18.200	-11,47 %	-13,74	-15,92
Madrid	182.700	-60.300	-29,54 %	-24,81	-33,00
Murcia	46.900	-2.300	-3,71 %	-4,67	-4,90
Navarra	17.800	1.600	10,86 %	9,88	8,99
País Vasco	67.100	-16.100	-17,06 %	-19,35	-23,99
La Rioja	10.000	0	0,07 %	0,00	0,00
Ceuta	5.800	*	*		
Melilla	3.000	*	*		
TOTAL	1.841.300	-239.800	-11,10 %		

*Muestreo no significativo

Figura 4: La Vanguardia, 28 Gener 2006. Pàgina 55 (la part del requadre a traços és afegida)

Les operacions amb percentatges fetes a la lleugera poden donar "perles" com la publicada a El Periódico el 5 de gener de 2006 (Figura 5: El Periódico, 5 de gener de 2006. Pàgina 27). Evidentment el percentatge global ha de ser del 32,5% suposant que hi ha tants nens com nenes. Dos percentatges no es poden sumar si abans no s'han ponderat per la proporció d'individus de cada tipus existents en la població, sinó ens podríem trobar en casos (com el de l'exemple) en què el 100% dels nens i el 100% de les nenes resulten ser el 200% dels menors.

Alerta per la desprotecció infantil davant videojocs violents

Amnistia Internacional diu que el sector no està ben regulat i demana al Govern que intervingui

El 65% dels menors de 10 a 17 anys admeten que accedeixen a programes per a majors d'edat

Fins i tot amb premisses tan poc edificants, els adults poden fer el que vulguin. «El problema és que el 50% dels nens i el 15% de les nenes d'entre 10 i 17 anys reconeixen que fan servir habitualment videojocs que estan destinats a més grans de 18 anys», va assegurar Baltà. Aquests

Figura 5: El Periódico, 5 de gener de 2006. Pàgina 27

No ignorar la variabilitat

Cal evitar identificar a tota la població amb el valor de la seva mitjana. En molts casos no és suficient amb la mitjana per descriure un conjunt de dades.

El dia 25 de novembre de 2005 apareixien dues informacions quasi idèntiques a El Periódico i La Vanguardia sobre les despeses del període de Nadal. La despesa per habitant es calcula dividint la despesa total estimada (no s'explica com ni qui l'ha fet) pel nombre de catalans (tampoc sabem quins). El Periódico especifica al seu titular que es tracta d'una mitjana, però a la Vanguardia sembla que cada català es gastarà exactament 719 €.

Els costums nadalencs ▶ L'economia domèstica

Cada català gastarà en compres de Nadal una mitjana de 719 €



VIERNES, 25 NOVIEMBRE 2005

VIVIR | 5

Cada catalán gastará 719 euros en las compras de Navidad



Figura 6: *El Periódico (a dalt) i La Vanguardia (a baix). 25 novembre 2005. Pàg. 45 i 5 (suplement Vivir) respectivament*

Donar només la mitjana moltes vegades no és suficient per descriure una determinada situació. Per exemple, que els consellers de societats guanyin una mitjana de 195.000 € a l'any, en rigor no informa sobre si guanyen molt o poc. Podria ser que uns pocs guanyessin moltíssim, i la majoria guanyessin més aviat poc. Seria interessant saber, a més de la mitjana, quin és el rang del salaris o, posats a donar només un número, en aquest cas seria més adequat donar la mediana, valor que deixa per sota, i també per sobre, el 50% dels valors. Tot i que també és veritat que aquesta és una mesura amb la que no s'està gens familiaritzat.

INFORME SOBRE LA GESTIÓ EMPRESARIAL

Els consellers de societats guanyen 195.000 € cada any de mitjana



Figura 7: *El Periódico*, 23 de desembre de 2005. Pàgina 39

Representacions gràfiques

Originalitat: els pictogrames

És una bona idea introduir originalitat en les representacions gràfiques sempre i quan la informació es transmeti de manera clara i correcta.

Els pictogrames combinen un tipus determinat de gràfic amb una imatge relacionada amb la temàtica que tracta la notícia. Aquest és un recurs molt utilitzat per *El Periódico* i, amb menys freqüència, per *La Vanguardia* i *El País*.

La representació de la Figura 8 recorda un diagrama de barres i mostra d'una manera molt clara el número d'Òscar a què havia estat nominada cada pel·lícula, i el nombre finalment aconseguit.



Figura 8: *La Vanguardia*, 7 març 2006. Pàgina 03 – Especial Òscar

En canvi, la Figura 9 mostra un pictograma que no només no ajuda a entendre la informació continguda sinó que més aviat complica la comprensió de les dades que, a més, no mantenen cap proporcionalitat amb la imatge representada.

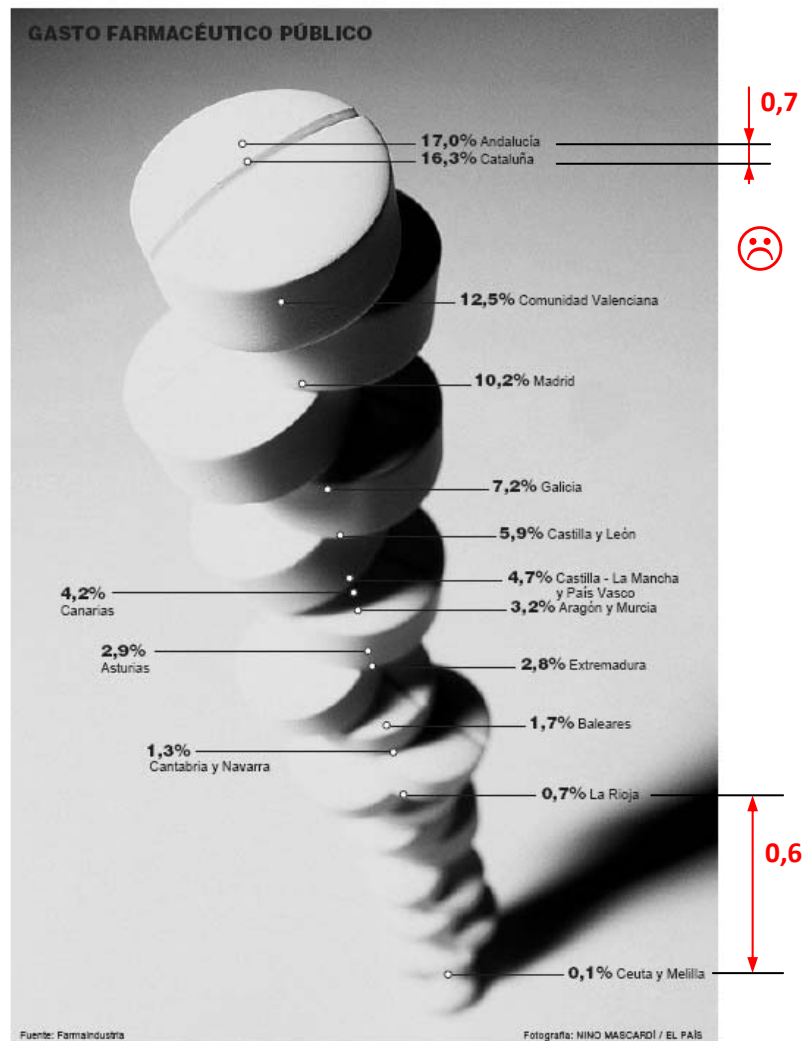


Figura 9: *El País*, 22 novembre 2005. Pàgina 15

Claredat

Tot gràfic ha de perseguir que la seva lectura i la seva interpretació siguin fàcils.

La Figura 10 compara activitats relacionades amb el “consum cultural” de joves i adults. La part de dalt “Lo que no hacen los jóvenes” és realment difícil d’interpretar. Qui va més al teatre, els joves o els grans? Estaria més clar si ho fessin tal com ho fan en la part de baix, explicant què és el que sí fan.

El gràfic de la Figura 11 (si es pot considerar així) no ajuda a entendre, ni a captar amb més rapidesa el significat de les dades, sinó que el fet de barrejar dades i dibuixos sense cap sentit complica la lectura i comprensió de les dades.

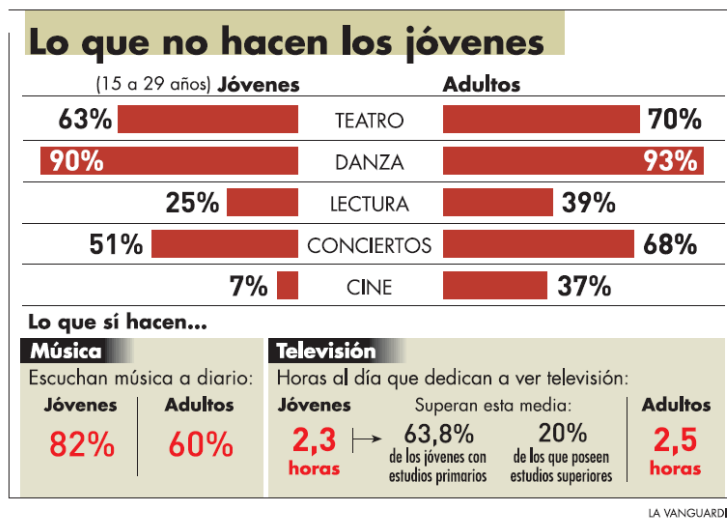


Figura 10: La Vanguardia, 3 març 2006. Pàgina 40

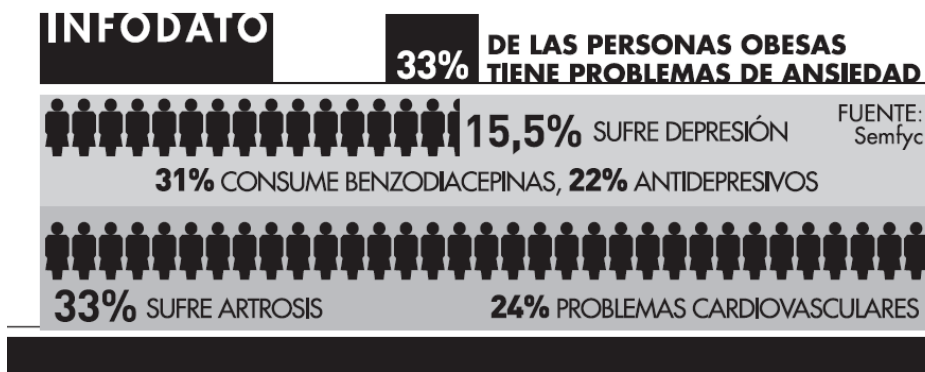


Figura 11: La Vanguardia, 30 de novembre de 2004. Pàgina 34

Proporcionalitat

S'ha de mantenir la proporcionalitat en els eixos dels gràfics.

Per que la representació gràfica doni una imatge fidel de la informació que contenen les dades, cal que les escales dels eixos mantinguin la seva proporcionalitat. Aquesta falta de proporcionalitat és més freqüent en l'eix vertical (la Figura 9 n'és un exemple) i pot provocar que un petit increment sembli més gran del que realment és, o dissimular la importància d'un altre de més gran. A la premsa, segurament aquesta pràctica està més orientada a buscar imatges més creatives que no pas a confondre al lector, però en anuncis publicitaris aquesta deformació del gràfic pot tenir interessos més enllà de la pura estètica.

La Figura 12 mostra un exemple de gràfic amb l'eix horitzontal no proporcional. Mostra l'evolució del tipus oficial fixat pel Banc Central Europeu (BCE). Només s'han representat aquells mesos en els quals el BCE va augmentar o disminuir els tipus d'interès. Una representació com la proposada és més fidel a la realitat: es mostren les variacions únicament quan es produeixen, es representa tot el període estudiat i els canvis, en comptes de dibuixar-los progressius, es fan puntuals (tal i com ocorre amb els tipus d'interès).

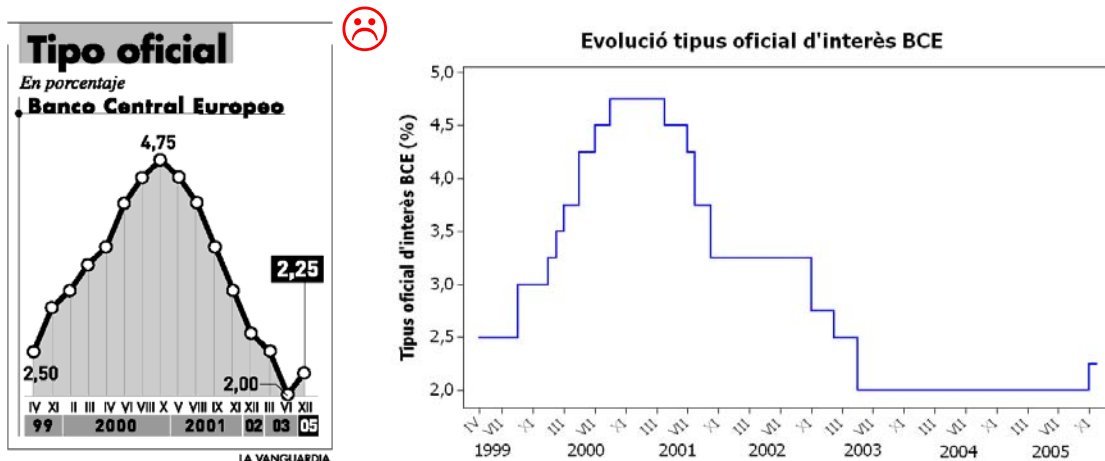


Figura 12: Gràfic publicat a *La Vanguardia*, 2 desembre 2005, pàg. 73 i proposta de millora (dreta)

Comparacions adequades

Totes les representacions han de ser realitzades amb els mateixos criteris quan es volen comparar i aquests criteris de comparació han de ser adequats.

Moltes vegades resulta d'interès publicar dades que comparin el comportament de tot l'Estat amb el d'una comunitat autònoma concreta. A la Figura 13 es fa la comparació de les audiències de televisió a Catalunya i a Espanya en un conjunt de partits de futbol. Encara que un partit despertí molta més expectació a Catalunya, seria excepcional que el nombre d'espectadors fos més elevat que en el conjunt de tota Espanya (i és impossible si en les dades d'Espanya s'inclouen les de Catalunya) pel fet que el nombre total d'habitants a Catalunya és molt menor que al conjunt de l'estat.

D'acord amb les dades que apareixen a la Figura 13, en percentatge, les audiències són més grans a Catalunya que a la resta de l'Estat quan juga el Barcelona, i no es així quan juga el Real Madrid. En valor absolut (en total) sempre és més gran l'audiència del conjunt de tota Espanya, com era d'esperar. Però la gràfica el què compara són valors absoluts i, tot i que també dóna la dada del percentatge, del gràfic pròpiament dit no s'extreu, de forma fàcil, cap informació rellevant.

A la dreta s'inclou l'esbós d'una representació gràfica que compara els percentatges d'audiència on es veu clarament que quan juga el Barça l'audiència és més gran a Catalunya en termes relatius. A l'hora de fer comparacions entre poblacions de diferents mides és sempre millor fer-ho en percentatges.

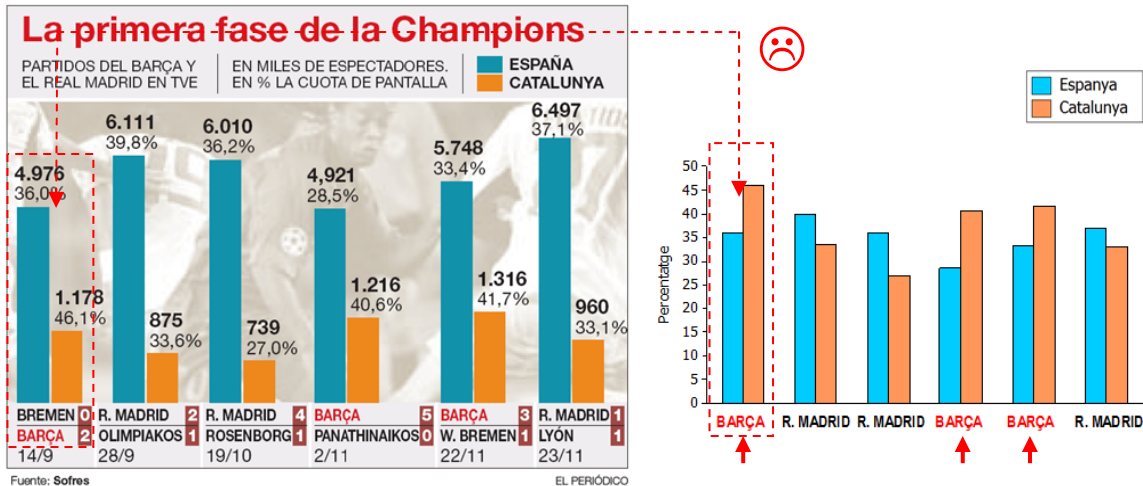


Figura 13: El Periódico, 21 desembre 2005, Pàgina 80 i proposta de millora (esquemàtica)

Necessitat

Convé fer una representació gràfica de les dades quan aquesta ajuda a la seva lectura i interpretació, no quan la dificulta.

Les gràfiques de la Figura 14 i la Figura 15 no ajuden a captar la informació que contenen les dades, més aviat compliquen la tasca. Seria millor utilitzar simplement una taula.



Figura 14: La Vanguardia, 4 gener 2006, p. 6

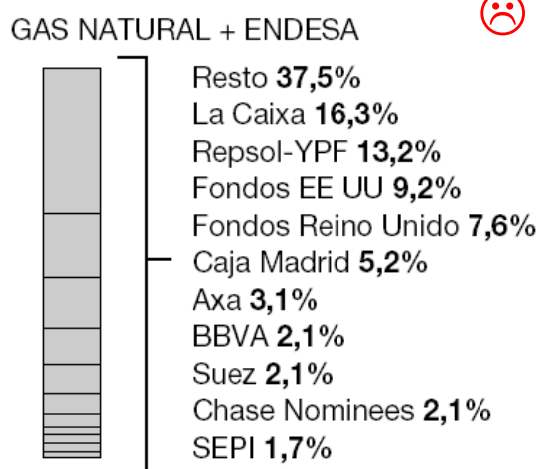


Figura 15: El País, 18 desembre 2005. Pàg. 58

Estudis basats en mostres

Representativitat

No es poden treure conclusions si la mostra de què es disposa no representa adequadament la població que es vol estudiar.

La notícia de la Figura 16 fa referència a un estudi sobre els canvis que s'han produït en el perfil dels consumidors habituals d'heroïna. Diu el text que a la investigació "... hi han participat un miler de consumidors habituals d'aquesta droga, de 18 a 30 anys, que viuen a Madrid, Sevilla i Barcelona." El peculiar d'aquesta notícia és que el titular escollit és: "El nou heroïnòman és jove, ha estudiat i treballa". Que és jove no pot ser una conclusió de l'estudi i, per tant, no és un aspecte a destacar, ja que a la mostra estudiada tots els individus eren joves, i no es podia concloure, per exemple, que el consumidor habitual té més de 40 anys. Que ha estudiat és un afirmació ambigua, vol dir que tenen estudis universitaris? Aquesta mostra de persones joves ha viscut en un període en què l'ensenyament és obligatori fins als 16 anys i no seria notícia haver estudiat fins aquesta edat. Les dades s'han de recollir en coherència amb el què es vol conèixer o les preguntes que es volen respondre.

CANVIS EN LES DROGODEPENDÈNCIES

El nou heroïnòman és jove, ha estudiat i treballa

▶ El consum d'heroïna injectada a Barcelona supera el de Madrid i Sevilla

▶ El fet que l'addicte visqui en un nucli familiar el pot ajudar a deshabituar-se

ÀNGELS GALLARDO
BARCELONA

La idea estereotipada que es continua associant el consum d'heroïna amb una situació social pròxima a la marginalitat és errònia. Un 69% dels actuals consumidors d'aquesta droga tenen menys de 25 anys, han cursat estudis secundaris, treballen (en un 33% de casos) i viuen amb la seva família.

En la investigació, la més àmplia sobre heroïna que es fa a Europa, hi han participat **un miler de consumidors habituals d'aquesta droga, de 18 a 30 anys, que viuen a Madrid, Sevilla i Barcelona.**

UN FACTOR POSITIU // La circumstància social i familiar dels nous heroïnòmans és un factor que pot accelerar la seva deshabitució, consideren els autors de l'estudi: «El fet

lona és la ciutat espanyola amb més consum d'heroïna injectable és perquè es tracta de la modalitat que més predomina en els circuits de venda d'estupefaents d'aquesta ciutat, diu l'especialista.

«El consum d'heroïna injectada té més risc que la que es fuma o s'inhala -explica-. L'ús de xeringues dona lloc a complicacions fisiològiques causades per sobredosi i malalties infeccioses». L'heroïna preparada per ser injectada és, també, la que provoca més deteriorament mental, afegeix.

La majoria dels joves investigats van començar a consumir heroïna a l'edat de 18 anys. Al principi, se la fumaven, després la van inhalar i en



Figura 16: *El Periódico*, 26 octubre 2005. Pàgina 47

També és destacable que en aquest estudi només han participat heroïnòmans de tres de les ciutats amb més habitants d'Espanya, i és discutible que les seves conclusions es puguin generalitzar, ja que és possible que les persones que resideixen en nuclis més petits tinguin unes característiques diferents.

Grandària

Els estudis basats en mostres han de tenir una grandària suficient per que les conclusions es puguin generalitzar.

La notícia adjunta informa de les conclusions extretes a partir d'un estudi amb 10 persones. Però sembla que la grandària de la mostra no és l'únic aspecte poc seriós de l'estudi.

La set accentua la sensació de dolor



➕ CIENTÍFICS DE la Universitat de Melbourne van analitzar la resposta de 10 persones que van ser sotmeses a sensacions de dolor i de set, injectant-los substàncies salines. Segons els seus resultats, la set estimula el dolor, però una sensació dolorosa no provoca ganes de beure.

Figura 17: *El Periódico, 31 gener 2006. Pàgina 35*

Marge d'error

Cal prendre en consideració el marge d'error en la interpretació dels resultats.

En general, quan s'estimen característiques d'una població a través d'una mostra i, en particular, quan s'estima el percentatge de vots que tindrà un determinat partit a través d'una enquesta, el valor obtingut no és un valor exacte, sinó que està sotmès a un cert marge d'error (si es tornés a seleccionar a l'atzar una altra mostra de les mateixes característiques el resultat no seria el mateix). Per exemple, si el resultat obtingut és d'un 40% i el marge d'error és del 5%, vol dir que el percentatge de votants estarà entre el 35 i el 45%. No es pot precisar si el percentatge serà del 38 o del 43% perquè "l'aparell de mesura" no pot filar més prim.

La notícia de la Figura 18 fa referència als resultats d'un estudi que pretén, entre d'altres coses, estimar els vots que tindrien PP i PSOE si s'haguessin fet les eleccions en aquell moment. L'estudi inclou la fitxa tècnica (habitual en els estudis seriosos) on informa que el marge d'error és del $\pm 3,16\%$. Si el resultat del PP és del 42,6% i el del PSOE del 41,3%, no es pot afirmar que el PP manté un avantatge (ni curt ni llarg) sobre el PSOE. Que el marge d'error sigui del $\pm 3,16\%$ vol dir que si es tornés a fer l'estudi, exactament de la mateixa manera i amb una mostra de les mateixes característiques,

el resultat seria el que s'ha obtingut $\pm 3,16\%$. El titular hauria de transmetre la idea que de l'estudi realitzat es desprèn que no hi ha diferències entre la intenció de vot a ambdós partits.

Sovint ens trobem que, a la premsa, es proporciona la fitxa tècnica del mostreig realitzat però s'obvia per complet en les conclusions que s'extreuen.

SONDEO DEL INSTITUTO NOXA PARA 'LA VANGUARDIA' »»

El PP mantiene una corta ventaja sobre el PSOE, que se recupera ligeramente

Rajoy obtendría ahora un 42,6% de los votos, frente al 41,3% de Zapatero

• • •



FICHA TÉCNICA. Universo: población mayor de 18 años residente y empadronada en España. Muestra: 1.000 entrevistas en toda España distribuidas de forma proporcional; la muestra de Catalunya se ha ampliado hasta alcanzar las 400 entrevistas. Muestra estratificada por autonomías, tramos de población y cuotas de sexo y edad. Margen de error: para un intervalo de confianza del 95,5% y para $p=q=0,50$, el margen de error es de $\pm 3,16\%$ para España y de $\pm 5\%$ para Catalunya. Metodología: entrevistas telefónicas realizadas entre los días 30 de enero y 2 de febrero.

Figura 18: *La Vanguardia*, 5 febrer 2006.
Pàgina 15 (el titular) i pàgina 17 (la fitxa tècnica)

Estadística de l'ús de l'estadística

Els gràfics més utilitzats són els diagrames de barres, els diagrames de sectors i les sèries temporals pel que fa als tres diaris estudiats, deixant molt enrere el nombre d'altres tipus de representacions com els diagrames de barres adossades, les barres apilades o els pictogrames. Concretament, el tipus d'ús més freqüent per a *El País* i *La Vanguardia* són els gràfics de barres; i per a *El Periódico* els diagrames de sectors.

Segons les diferents característiques avaluades, aproximadament un 60% dels gràfics trobats en els tres diaris estudiats són correctes. Concretament l'ús de diagrames de

sectors i sèries temporals acostumen a ser correctes en tots els diaris. El 13% dels gràfics els podem catalogar com a millorables, i el 28% restant estan mal fets. Dins de la categoria de “Mal fets” s’han inclòs els gràfics que es consideraven que estaven malament, els que eren enganyosos podent portar a diferents interpretacions segons els lectors i els absurds (no contenen informació). A trets generals destaca que *La Vanguardia* és l’únic dels tres diaris en el que s’han detectat més usos incorrectes que correctes.

Tot i que les referències classificades com a “resum de dades” (mitjanes, marge d’error...) no són tant abundants com les representacions gràfiques, molts són els aspectes que se’n poden destacar. L’error més freqüent rau en que moltes vegades es proporciona el marge d’error, però quasi mai es té en compte a l’hora d’extreure’n les conclusions. En segon pla es pot situar la representativitat de la mostra com un altre dels punts dèbils de les notícies que es presenten a la premsa. Sobre aquesta representativitat moltes de les vegades ni es pot opinar, ja que no s’especifica quina ha estat la mostra ni d’on s’han tret les dades ni el procediment seguit per obtenir-les.

Un altre problema majoritari és el d’interpretar la mitjana com un tot, ignorant per complet la variabilitat de les dades. Induir que tothom és igual a la mitjana és l’equivocació que es comet en tots els diaris.

(Projecte de la Diplomatura d’Estadística, presentat el juliol de 2006 amb el títol “Ús de l’estadística a la premsa. Estudi crític”)

El projecte complert il·lustra els errors més freqüents, i també les coses que es fan bé, a través de 103 exemples seleccionats durant el període estudiat. Algú havia recomanat que es divulgues més aquesta informació, que s’enviés als diaris, que segur que ho agrairien. Però sempre hi ha coses més urgents i ja no s’havia tornat a tocar aquest tema. Fins ara.



Maria

Sara

Sara Fontdecaba i Maria Montón han fet la Diplomatura, la Llicenciatura i també el Màster en Estadística i Investigació Operativa a la UPC. Entre les seves moltes qualitats està la de ser bones estudiant (van ser les dues primeres de la seva promoció). En l’últim curs de la diplomatura, la Sara va fer pràctiques en una empresa d’estudis de mercat i la Maria en el departament de qualitat d’una empresa industrial. Totes dues han col·laborat com a becaries per treballs de consultoria en el Departament d’Estadística de la UPC. La Maria també ha sigut una peça clau per l’edició d’aquest llibre (és veritat, treballen molt).

16

Previsió de la duració de les etapes de la *Vuelta Ciclista a España*

Projecte realitzat per: **Román Peñas Cambray**
Dirigit per: **Alexandre Riba Civil**

Tot i que últimament s'estan produint alguns canvis, les grans voltes ciclistes són un dels esdeveniments esportius més populars arreu del món. El Tour de França, per exemple, la prova més important d'aquestes característiques, té una audiència televisiva mundial només superada per dos esdeveniments esportius: les Olimpíades i els campionats del món de futbol.

El Tour, però, no és l'única prova d'aquestes característiques amb una forta repercussió. Per exemple, TVE va estimar que l'any 1997 (any en què es va realitzar aquest projecte) la Vuelta a Espanya era seguida diàriament per milions de persones en 142 països dels 5 continents.

Les voltes ciclistes per etapes tenen un gran problema: el temps de duració de cada etapa no és fix, depèn de la velocitat a la que circulen els ciclistes. Males previsions d'aquest temps d'arribada dificulten l'organització i perjudiquen la seva difusió. Alguns dels afectats són els mitjans de comunicació que han d'alterar les seves programacions, els espònsors que veuen disminuït el seu efecte publicitari, els organitzadors que se'ls complica la feina o els espectadors que no poden veure allò que resulta més interessant: el final de l'etapa.

Les voltes ciclistes

Les voltes ciclistes són competicions que es disputen per etapes diàries. Podríem dir que és la suma d'una sèrie de competicions seguides sota un mateix organitzador, però amb la peculiaritat que per poder prendre la sortida un dia has hagut d'acabar la cursa del dia anterior.

En el món del ciclisme professional hi ha tres voltes que destaquen per sobre de la resta: el *Tour de França*, el *Giro d'Itàlia* i la *Vuelta a Espanya*. Cada una d'elles transcorre al llarg de tres setmanes, o per ser més concrets 23 dies, en els quals es disputen un total de 22 etapes i uns 3.800 quilòmetres. Dins d'aquests 22 dies de competició (n'hi ha un de descans) hi ha etapes amb característiques molt diferents: les de muntanya amb orografia accidentada, les planeres on s'aconsegueixen grans velocitats mitjanes o les contrarellotges que es realitzen de forma individual.



Figura 1: Les grans voltes ciclistes generen gran expectació

Des del punt de vista de la tipologia de les etapes es diferencien dos tipus: les etapes en línia i les contrarellotges. En les etapes en línia (planes o muntanyoses) tots els ciclistes surten alhora, es realitzen entre 100 i 270 quilòmetres i es permet la col·laboració entre diferents competidors. En canvi, en les contrarellotges, només es realitzen de 5 a 60 quilòmetres, els ciclistes surten separats per intervals de temps i no es permet la col·laboració entre ciclistes, sinó que es tracta d'un esforç purament individual.

Una gran volta mobilitza diàriament a unes 2.500 persones, entre les quals s'inclouen periodistes, policies, organitzadors i, naturalment, participants. En una competició

d'aquest estil hi prenen part un màxim de 25 equips professionals, cosa que implica uns 225 corredors (9 per equip).

El problema

Les previsions del temps d'arribada en les tres grans competicions ciclistes per etapes (*Tour de França*, *Giro d'Itàlia* i *Vuelta a Espanya*) es realitzen a ull. El director tècnic de la prova, un cop decidits els recorreguts, preveu la velocitat mitjana a què circularan els ciclistes en base a la seva pròpia experiència en etapes de característiques similars. Un cop fixada aquesta mitjana es calcula el temps que trigaran a realitzar l'etapa i l'hora a la qual ha de començar per tal que finalitzi a una hora pactada amb la televisió.

També es calculen els temps previstos de pas per tots aquells punts que l'organització considera importants (poblacions, cruïlles, metes volants, ports de muntanya,...). En aquest punt hi ha organitzacions que es decanten per fer-ho de forma totalment lineal (com la *Vuelta*) i altres que apliquen una correcció segons l'orografia (com el *Tour*). De la mateixa manera es calculen tres temps de pas més: l'horari ràpid (amb una velocitat mitjana 2 km superior a la prevista), l'horari lent (amb una mitjana 2 km inferior a la prevista) i l'horari de la caravana publicitària (normalment una hora abans que l'horari ràpid).

L'objectiu que es plantejava (en aquesta part del projecte) era obtenir la màxima precisió en la previsió dels horaris d'arribada en voltes ciclistes per etapes usant tècniques de modelatge estadístic. Més concretament es pretenia relacionar el temps del guanyador de cada etapa amb les característiques de la pròpia etapa (els quilòmetres que han de realitzar, els desnivells que han de superar, la categoria dels ports que han de passar...), així com altres variables que la relacionen amb la resta de la competició (la duresa de l'etapa anterior i posterior, la importància que a priori té l'etapa per la classificació general, els quilòmetres acumulats des de l'inici de la competició...).

Recollida de dades. Selecció de possibles variables explicatives

Per modelitzar el comportament dels ciclistes a la *Vuelta a Espanya* s'han tingut en compte els resultats dels 6 anys anteriors a la realització del projecte, o sigui, de les voltes corresponents als anys 1991 a 1996. S'ha escollit aquest nombre d'anys perquè és un bon compromís entre la quantitat de dades que s'obtenen, 137, i poder garantir que no s'han donat grans canvis en el comportament dels ciclistes. No és preocupant el fet que en els últims anys es corri més que abans, cosa que seria fàcilment

quantificable, el realment preocupant és com modelitzar canvis de comportament més complexos, com per exemple la major especialització dels ciclistes actuals respecte als de dècades anteriors, per això s'ha escollit un període no massa llarg.

La recollida de les dades s'ha fet principalment a partir de dues fonts:

- Els llibres de ruta de *La Vuelta*: Són els documents que els organitzadors reparteixen entre els directors d'equip, periodistes, policies locals i d'altres persones que intervenen en l'esdeveniment. En ells es detallen horaris, recorreguts, altímetres, situació de zones perilloses, reglaments, etc... (veure Figura 2).
- Revistes especialitzades on es publiquen els resultats i es comenten els incidents més importants de la cursa.

Degut a que els dos tipus d'etapes existents –les etapes en línia i les contrarellotge– tenen característiques molt diferents no sembla adequat modelitzar-les amb el mateix model estadístic i, per tant, se'n construirà un per cada tipus d'etapa. Les etapes més importants, però, són les etapes en línia ja que són molt més variables (pel que fa a relleu, distància...) i depenen molt més de l'estat dels corredors. Per tant, seran també les més difícils de modelitzar i preveure. En aquest resum es presentarà només el resultat per a aquest tipus d'etapes.

La variable resposta que s'ha de predir és el temps, en minuts, que dedica el guanyador de cada etapa en línia en realitzar-la. Es tenen 105 observacions amb temps que varien entre els 150 i els 450 minuts aproximadament, amb una mitjana d'uns 300 minuts.

Com a possibles variables explicatives s'han considerat:

- Distància de l'etapa en quilòmetres (km): Segurament serà una de les variables més influents sobre el temps que es triga.
- Metres de diferència (mdif): Diferència entre l'altitud del punt d'arribada amb el punt inicial, mesurada en metres.
- Metres pujats (mpujats): Metres de desnivell de l'etapa. El desnivell més pronunciat és d'uns 4.000 metres mentre que s'observa que hi ha etapes que es poden considerar totalment planes.
- Nombre de ports de categoria especial (portsE), de primera categoria (ports1), de segona categoria (ports2) i tercera categoria (ports3).
- Última etapa (última): indica si l'etapa es correspon a l'última de la competició (la 22a).

- Abans de contrarellotge (a_contra): indica si l'etapa en qüestió és l'anterior a la disputa d'una contrarellotge.
- Després de contrarellotge (d_contra): indica si l'etapa disputada precedeix a una contrarellotge.
- Abans d'etapa de muntanya (a_mun): indica si l'etapa és correspon a l'anterior d'una etapa de muntanya (mpujats > 2.000m).
- Després de muntanya (d_mun): indica si l'etapa en qüestió és la següent a la disputa d'una etapa de muntanya.
- Setmana: indica a quina setmana correspon l'etapa (primera, segona o tercera).

La Taula 1 conté el llistat d'aquestes variables candidates a entrar en el model indicant el tipus de cadascuna d'elles. Les variables quantitatives es poden utilitzar sense cap precaució especial, les dicotòmiques poden prendre només 2 valors diferents que codifiquem com a 0 i 1. La variable *setmana*, com que és qualitativa, no es pot fer servir "tal i com està" perquè el model entendria que la setmana 3 val 3 vegades la setmana 1, i això no és cert. Per utilitzar aquesta variable cal introduir unes noves variables auxiliars que en la literatura estadística s'acostumen a anomenar "variables dummy".

Taula 1: Llista de variables candidates a entrar en el model

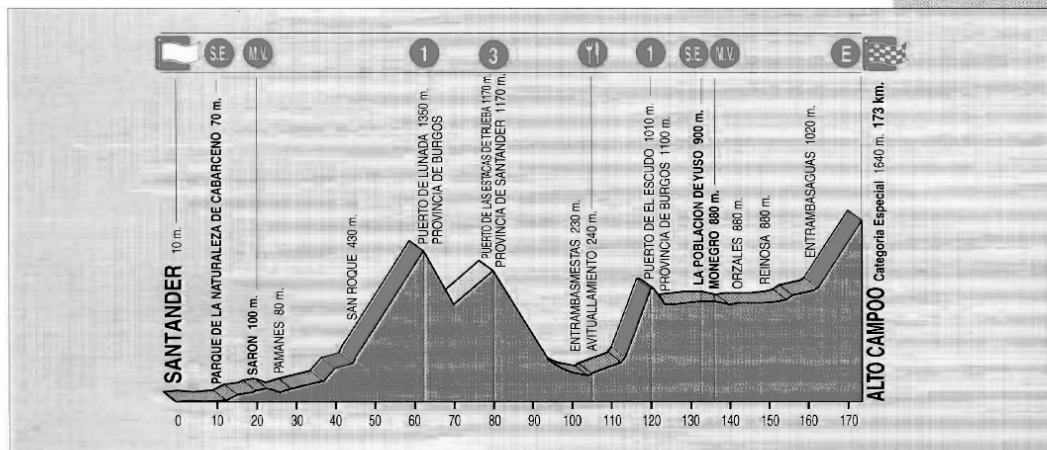
Variable	Abreviatura	Tipus
Distància de l'etapa en quilòmetres	km	
Diferència d'altitud	mdif	
Metres pujats	mpujats	
Nombre de ports de categoria especial	portsE	Quantitativa
Nombre de ports de primera categoria	ports1	
Nombre de ports de segona categoria	ports2	
Nombre de ports de tercera categoria	ports3	
Última etapa	ultima	
Abans de la contrarellotge	a_contra	Dicotòmica
Després de la contrarellotge	d_contra	
Abans d'etapa de muntanya	a_mun	
Després d'etapa de muntanya	d_mun	
Setmana	setmana	Qualitativa

ALTITUD	ITINERARIO	Km. REC.	POR REC.	HORARIO PREVISTO		
				32 Km/h.	34 Km/h.	36 Km/h.
COMUNIDAD DE CANTABRIA						
10	Salida lanzada 200 m. después gasolinera, dirección Burgos por N-623.	0,0	173,4	12:24	12:24	12:24
30	MURIEDAS.	2,7	170,7	12:29	12:28	12:28
20	Cruce. Giro a la izquierda dirección Bilbao-Astillero por S-436.	4,1	169,3	12:31	12:31	12:30
10	Cruce. Giro a la derecha dirección Sarón por S-432.	8,3	165,1	12:39	12:38	12:37
70	Parque de la Naturaleza de Cabárceno. SPRINT ESPECIAL	15,5	157,9	12:53	12:51	12:49
100	SARON. META VOLANTE					
	Cruce. Giro a la izquierda dirección Solares-Bilbao por N-634.	18,9	154,5	12:59	12:57	12:55
80	PAMANES.					
	Cruce. Giro a la derecha dirección Liérganes por S-553.	26,5	146,9	13:13	13:10	13:08
110	LIÉRGANES.	29,4	144,0	13:19	13:15	13:13
120	RUBALCABA.	32,0	141,4	13:24	13:20	13:17
190	MIRONES.	37,7	135,7	13:34	13:30	13:26
430	SAN ROQUE DE RIO MIERA.	46,3	127,1	13:50	13:45	13:41
1.350	PUERTO DE LUÑADA. PREMIO MONTAÑA 1.ª CATEGORIA	62,0	111,4	14:20	14:13	14:07
PROVINCIA DE BURGOS						
880	Cruce. Giro a la derecha dirección Vega de Pas por BU-570.	70,6	102,8	14:36	14:28	14:21
1.170	PUERTO DE LAS ESTACAS DE TRUEBA PREMIO MONTAÑA 3.ª CATEGORIA	80,0	93,4	14:54	14:45	14:37
COMUNIDAD DE CANTABRIA						
370	VEGA DE PAS.	94,3	79,1	15:20	15:10	15:01
230	ENTRAMBASMESTAS.					
	Cruce. Giro a la izquierda dirección Burgos por N-623.					
	AVITUALLAMIENTO.	104,8	68,6	15:40	15:28	15:18
360	SAN ANDRES DE LUENA.	112,5	60,9	15:54	15:42	15:31
390	LOS PANDOS.	113,5	59,9	15:56	15:44	15:33
560	BOLLACIN.	115,5	57,9	16:00	15:47	15:36
1.010	PUERTO DEL ESCUDO. PREMIO MONTAÑA 1.ª CATEGORIA	120,8	52,6	16:10	15:57	15:45
PROVINCIA DE BURGOS						
880	Cruce. Giro a la derecha dirección Reinos por C-6318.	123,5	49,9	16:15	16:01	15:49
880	CORCONTE.	125,0	48,4	16:18	16:04	15:52
COMUNIDAD DE CANTABRIA						
900	LA POBLACION DE YUSO. SPRINT ESPECIAL.	132,5	40,9	16:32	16:17	16:04
890	LA COSTANA.	137,5	35,9	16:41	16:26	16:13
880	MONEGRO. META VOLANTE	140,0	33,4	16:46	16:31	16:17
890	ORZALES.	142,5	30,9	16:51	16:36	16:21
880	REQUEJO.	147,5	25,9	17:00	16:44	16:29
880	Cruce. Giro a la izquierda dirección Reinos-Palencia por N-611.	148,6	24,8	17:02	16:46	16:31
880	REINOSA.					
	Cruce. Dirección Campoo por C-625.	149,4	24,0	17:04	16:47	16:33
890	NESTARES.	150,5	22,9	17:06	16:49	16:34
900	SALCES.	151,9	21,5	17:08	16:52	16:37
920	FONTIBRE.	154,2	19,2	17:13	16:56	16:41
950	ESPINILLA.					
	Cruce. Dirección Brañaveja por C-628.	157,3	16,1	17:18	17:01	16:46
1.020	ENTRAMBASAGUAS.	162,2	11,2	17:28	17:10	16:54
1.640	ALTO CAMPOO. (BRAÑAVEJA) META. PREMIO MONTAÑA CATEGORIA ESPECIAL	173,4	0,0	17:49	17:30	17:13

Sala de prensa y oficina permanente: Oficinas de estación de esquí.

LLEGADA: Último kilómetro ligeras curvas y recta de 600 m. en subida del 6%.

ATENCIÓN: PASOS PELIGROSOS/BANDERA AMARILLA KMS.: 39,2 - 70,6 - 94,3 - 105,2.



MARTES
11 DE MAYO
DECIMOSEXTA
ETAPA

16

(173,4 Kms.)

SANTANDER
ALTO CAMPOO

CONCENTRACION Y FIRMA
De 11:15 a 12:00 h. en la Plaza Porticada.

LLAMADA
A las 12:10 h.

SALIDA NEUTRALIZADA
A las 12:16 h., por Jesús de Monasterio, San Luis, San Fernando, Cuatro Caminos, Avda. Valdecilla, Avda. de Cajo y N - 623.
Total: 4,4 kms.

Figura 2: Full del llibre de ruta de la "Vuelta Ciclista a España 1993"

Anàlisi exploratòria de les dades

Es comença amb una anàlisi exploratòria de les dades per identificar possibles valors anòmals (valors molt discrepants, errors en la introducció de les dades,...) que caldria estudiar si s'han d'incloure o no en l'anàlisi, i també per tenir una primera impressió del comportament de les dades i de les relacions entre elles. Per exemple, la Figura 3 mostra la relació entre la longitud de l'etapa (en km) i el temps que es triga en recorre-la (en minuts). Evidentment existeix una correlació molt clara entre ambdues variables i també es pot veure que les etapes que tenen 1 i, especialment, 2 ports de categoria especial, triguen un temps que tendeix a ser superior que en les etapes de la mateixa longitud però sense aquest tipus de ports (Figura 4).

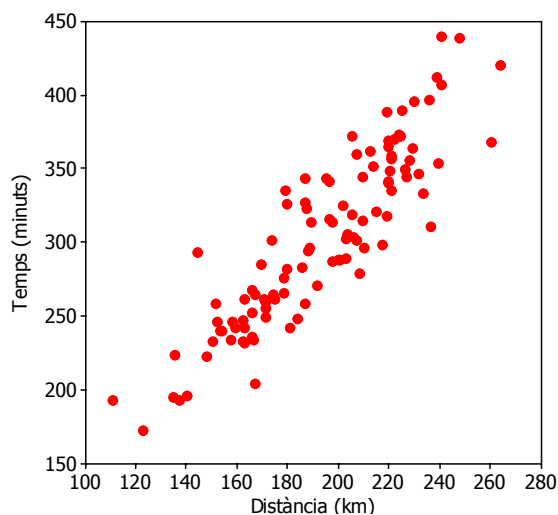


Figura 3: Relació entre el temps que es triga en recórrer l'etapa i el nombre de km que té

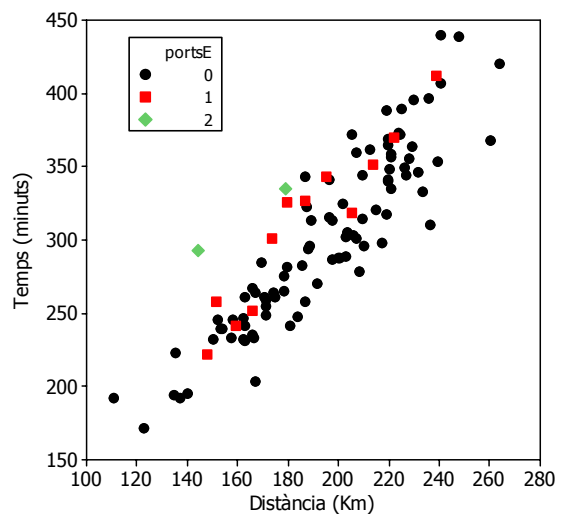


Figura 4: Similar a la Figura 3 però s'identifiquen les etapes pel seu nombre de ports especials

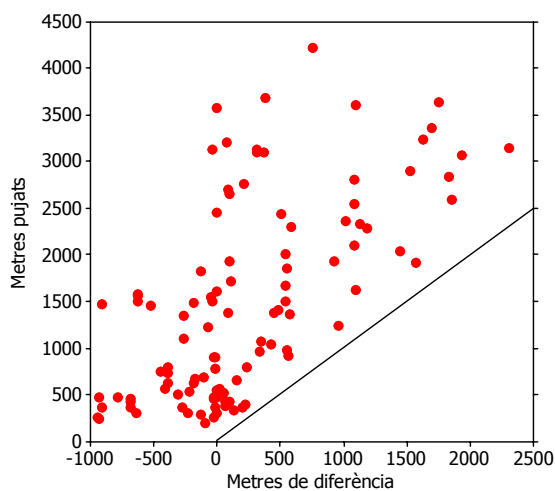


Figura 5: Metres pujats en funció dels metres de diferència (cota d'arribada menys cota de sortida)

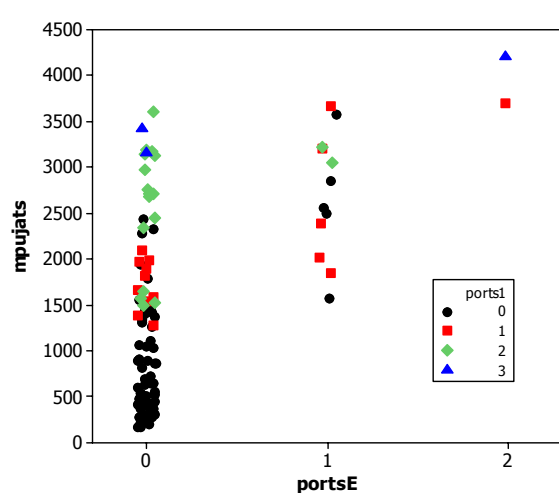


Figura 6: Metres pujats en funció del nombre de ports especials. Per cada grup s'indica també el nombre de ports de 1ª categoria

La Figura 5 mostra la relació entre els metres pujats i la diferència entre les alçades de la cota d'arribada i la de sortida. Naturalment, en una etapa no poden ser més petits els metres pujats que la diferència d'alçades, per això no hi ha punts per sota de la línia traçada al gràfic. A la Figura 6, última d'aquesta selecció que es presenta, es pot veure com els metres pujats estan relacionats amb el nombre de ports especials i també amb el nombre de ports de primera categoria.

Cerca d'un bon model

Ens interessa un model amb la màxima capacitat predictiva i el més senzill i fàcil d'utilitzar possible. Les variables que hem seleccionat com a possibles variables explicatives són això: possibles, i caldrà estudiar quines convé incloure i quines no, ja sigui perquè no aporten cap informació sobre el comportament de la resposta o perquè són redundants (el que poden explicar elles ja ho expliquen les altres).

També pot ser convenient col·locar com a candidates a formar part del model transformacions de les variables originals. Si en l'anàlisi exploratòria de les dades s'observa una relació quadràtica entre una variable i la resposta, pot ser convenient col·locar aquesta variable elevada al quadrat també com a candidata, o també pot ser convenient crear noves variables fent productes de les variables originals. Una vegada identificat un primer model, certs tipus de comportaments dels errors de predicció poden aconsellar introduir també transformacions logarítmiques d'algunes variables, com es va fer en aquest cas.

Gairebé mai el model més convenient és aquell que inclou totes les variables en les que s'ha pensat. Cal seleccionar quin subconjunt és el més convenient d'entre les variables originals i les transformades. Per fer aquesta selecció és molt útil la utilització de programes de software estadístic. Hi ha dues grans estratègies:

- Càlcul de totes les equacions possibles: És l'estratègia de la força bruta. Es calculen totes les equacions possibles, s'ordenen per criteris de qualitat d'ajust i s'escullen les que semblen més prometedores per analitzar-les a fons i, si cal, introduir-hi les modificacions que convinguin. El problema és que el nombre d'equacions possibles creix molt ràpidament: si k és el nombre de variables candidates, el nombre d'equacions possibles és $2^k - 1$, i si k és gran (de l'ordre de 30 o més) el temps de computació requerit fa inviable l'aplicació d'aquest mètode.
- Regressió pas a pas: És una estratègia que fa que les variables entrin (i també surtin) del model una a una. La primera en entrar és la que està més correlacionada amb la

resposta, la que en fer una diagrama bivariant mostra una relació més estreta (en el nostre cas seria la longitud de l'etapa). Però la segona en entrar no necessàriament és la segona que millor explica el comportament de la resposta (la segona més correlacionada) sinó la que millor explica el que falta per explicar, i d'aquesta manera van entrant fins que les que queden fora ja no tenen una aportació significativa. Les variables van entrant però també poden sortir si algunes de les que entren a continuació ja expliquen el que explicava la primera.

Un símil que ajuda a entendre com funciona aquesta estratègia és pensar que un s'ha de presentar a un examen en el que entren, per exemple, 100 temes, i no se'n sap cap, però es pot portar als assessors que vulgui entre els companys de la seva classe i, posats a suposar, se suposa també que sap quins temes coneix cada un dels seus companys. Si només es pogués emportar a un, a quin escolliria? Naturalment, al que més temes sàpiga (la variable que millor explica la resposta) i si es pot endur dos? No necessàriament s'emportarà als dos que més saben, perquè podria passar que el que més sap coneix 80 temes i el segon en coneix 70, però aquests 70 ja estan inclosos entre els que ja sap el primer i, per tant, el segon no aporta res. Serà millor un que només conegui 15 però siguin complementaris amb els que coneix el primer. També pot passar que un conegui 50 i un altre 40 de diferents, per tant, entre els dos coneixen 90 i si entre aquests estan els 80 que coneix el primer, aquest primer no aportarà res i no caldrà que vingui. Una altra consideració és que si tenim 100 companys, la millor estratègia no serà endur-nos-els tots, perquè molts no aportaran res i només generaran soroll i confusió. És millor identificar als pocs que millor es complementen i poden abastar el major nombre de temes, i deixar als que no saben res o el que saben ja ho aporten els seleccionats.

Existeixen diferents variants d'aquest mètode. El seu principal avantatge és que funciona ràpidament encara que el nombre de variables candidates sigui gran i orienta molt bé sobre quin tipus d'equacions han de ser explorades amb més detall.

Fent una primera exploració del tipus de models que semblaven més prometedors, es va arribar a una equació molt senzilla i amb un notable poder de predicció:

$$\text{Temps} = -39,9 + 1,70 \text{ km} + 0,00756 \text{ mpujats} + 0,00545 \text{ mpujats} \cdot \text{ports}_E$$

En aquest model el temps s'explica en funció del nombre de quilòmetres de l'etapa, els metres pujats i una nova variable que és el producte entre els metres pujats pel nombre de ports de categoria especial.

Però el model que es considera que té millors capacitats inclou les transformacions logarítmiques del temps i de la longitud de l'etapa:

$$\ln(\text{temps}) = 1,08 \ln(\text{km}) + 0,000021 \text{mpujats} \cdot \text{ports_E} + \\ + 0,000007 \text{mpujats} \cdot \text{ports1} + 0,00361 \text{m_if/km}$$

Tot i així, abans de donar aquest model per definitiu caldrà mirar-lo a fons per descobrir possibles imperfeccions que caldrà intentar solucionar.

Verificació del model: Anàlisi dels residus

El model serveix per estimar el valor de la resposta en funció dels valors de les variables explicatives. La diferència entre el valor estimat i el valor real és el que s'anomena residu. Per exemple, a la primera etapa de l'any 1991 (la primera de la que tenim dades) els valors de les variables que apareixen en el model són:

Variable	Abreviatura	Valor
Distància de l'etapa en quilòmetres	km	134,5
Diferència d'altitud	mdif	220
Metres pujats	mpujats	390
Nombre de ports de categoria especial	portsE	0
Nombre de ports de primera categoria	ports1	0

La distància recorreguda s'introdueix en el model a través del seu logaritme i el que s'obté, juntament amb les altres variables, és el logaritme del temps, en aquest cas: 5,308. Per tenir el temps en minuts cal desfer la transformació: $e^{5,308} = 201,90$ minuts.

Com que el valor real de la duració d'aquesta etapa va ser de 193,93 minuts, el seu residu és:

$$\text{Residu: Valor real} - \text{Valor previst} = 193,93 - 201,90 = -7,97 \text{ minuts}$$

Els residus són la part de la resposta que el model no és capaç d'explicar i cal assegurar-se de que prenen valors totalment aleatoris. Si segueixen algun patró de comportament que permeti treure alguna informació, aquesta haurà de ser aprofitada i incorporada al model. La Figura 7 mostra un gràfic en el que cada punt correspon a una etapa i relaciona els residus amb els valors previstos calculats amb el model obtingut estratificant per any (cada punt es representa de forma diferent segons l'any).

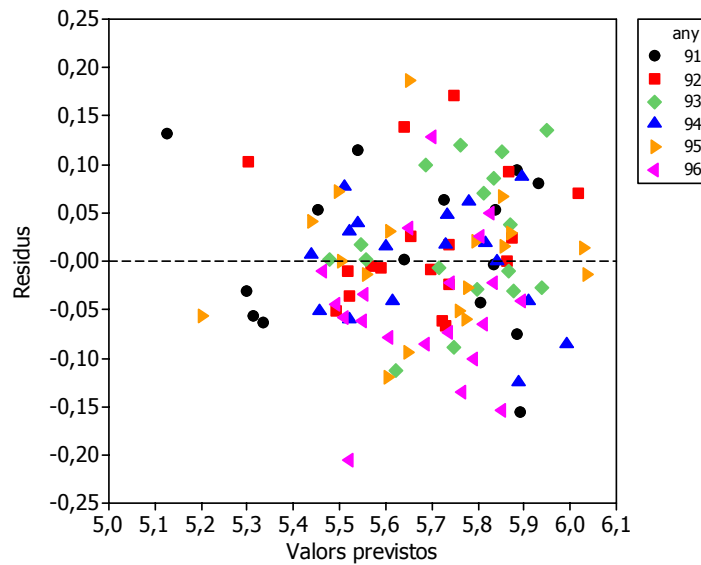


Figura 7: Gràfic dels residus enfront dels valors previstos estratificats per l'any de la cursa

S'observa que els residus corresponents a l'any 1996 surten majoritàriament per sota de zero. Exactament, de les 20 etapes d'aquell any, només en 4 d'elles el residu és positiu i la probabilitat que això passi per atzar (només 4 residus o menys per sobre de zero) és de l'ordre del 6 per mil. Si el model és adequat, els residus tenen la mateixa probabilitat de ser més grans o més petits que zero (és igualment probable que l'error es cometi per excés o per defecte). Si sistemàticament el model dona errors per defecte vol dir que no apunta bé, i caldrà reajustar-lo.

Aquest reajustament s'ha fet creant una nova variable, *any_96*, que val 0 per totes les etapes excepte per les de l'any 1996, que valdrà 1. El nou model obtingut és:

$$\begin{aligned} \ln(\text{temps}) = & 1,08 \ln(\text{km}) + 0,000020 \text{ mpujats} * \text{portsE} + \\ & + 0,000007 \text{ mpujats} * \text{ports1} + 0,00364 \text{ mdif/km} \\ & - 0,0597 \text{ any}_{96} \end{aligned}$$

Observis que el que fa l'últim terme és introduir una correcció de -0,0597 al logaritme del temps en les etapes de l'any 1996. Per les etapes d'altres anys, aquest terme és com si no hi fos (la variable val 0). Per tant, aquest nou terme del model està disminuint sistemàticament el temps de duració de l'etapa en el cas que es tracti d'una etapa de l'any 1996.

És bo el model trobat?

En primer lloc cal verificar que el model dóna resultats coherents d'acord amb el que es podria esperar. Per exemple, és raonable que la velocitat mitjana sigui més petita en les etapes llargues que en les curtes.

Utilitzant el model s'ha construït la Figura 8, que mostra la velocitat mitjana per etapa en funció de la seva longitud, per etapes sense ports i amb 0 metres de diferència. Efectivament, la velocitat disminueix amb la distància, i l'any 1996 és uns 2,5 km/h superior als anys anteriors.

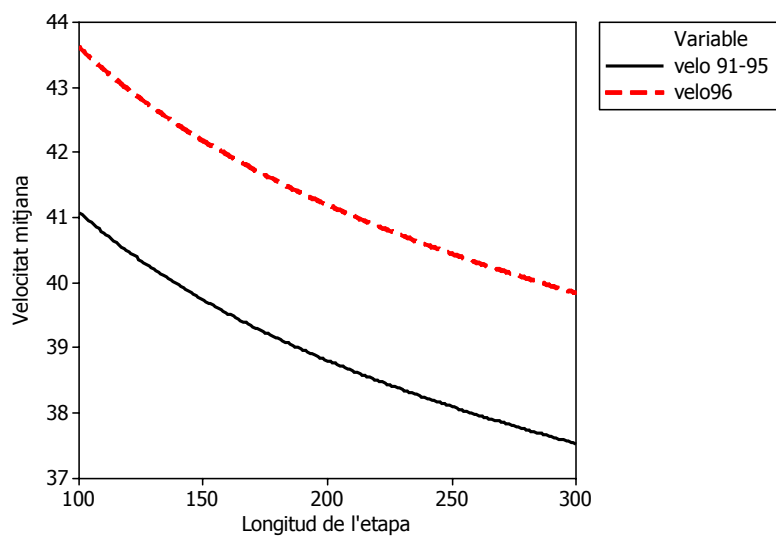


Figura 8: Variació de la velocitat mitjana en funció de la longitud de l'etapa, segons el model trobat per etapes sense ports i amb 0 metres de diferència.

Respecte a les mesures que valoren la qualitat d'un model estadístic, n'hi ha de diferents tipus, però en aquest cas una bona manera de valorar-lo serà comparant les seves previsions amb les que dóna l'expert. Si les previsions del model són millors, aquest serà útil, sinó, no haurem sabut superar el "model" de l'expert, perquè no s'ha sabut treure tota la informació de les dades que es tenen, o perquè no se'n tenen suficients (l'expert utilitza dades o informació que no s'han considerat per crear el model).

Si comparem les previsions del model amb les que fa l'expert per les 105 etapes de les que tenim dades, guanya el model. La suma dels errors (o dels residus, en valor absolut) del model és 1.747,88, mentre que la suma d'errors de l'expert és de 2.119,30. Però aquí hi ha trampa. Aquestes previsions s'han fet pels mateixos valors utilitzats per calcular el model, i no té mèrit ser capaç d'explicar el què ja se sap. El

model ha de demostrar la seva utilitat fent previsions en etapes noves, que no hagin servit per calcular-lo.

Per exemple, el model obtingut utilitzant només les etapes del anys 1991 a 1994 és:

$$\ln(\text{temps}) = 1,08224 \ln(\text{km}) + 0,00001682 \text{mpujats} \cdot \text{portsE} + \\ + 0,00000801 \text{mpujats} \cdot \text{ports1} + 0,004681 \text{mdif/km}$$

Utilitzant aquest model per fer les previsions de l'any 1995 (ara ja no es fa trampa), la suma dels errors que dona el model es 276,54 mentre que la suma d'errors de l'expert és 307,71. Per tant, si s'hagués fet servir aquest model per l'any 1995 els errors de previsió haurien sigut més petits que els que realment van existir utilitzant les previsions oficials. Però també s'ha de dir que les diferències són petites i un test de comparació de les mitjanes dels residus posa de manifest que aquestes diferències no són estadísticament significatives.

Finalment, utilitzant les dades de les etapes de 1991 a 1995 s'obté el model:

$$\ln(\text{temps}) = 1,08183 \ln(\text{km}) + 0,00001919 \text{mpujats} \cdot \text{ports}_E + \\ + 0,00000764 \text{mpujats} \cdot \text{ports}_1 + 0,004149 \text{m_dif/km}$$

El què no s'ha incorporat és el terme de correcció de l'any 1996 perquè només es pot conèixer quan ja es tenen les dades del 1996. Utilitzant aquest model per fer la predicció de la duració de les etapes d'aquell any, la suma dels errors que provoca el model és de 457,98 mentre que la suma dels errors de les previsions oficials va ser 574,13. I fent un test de comparació de les mitjanes dels errors, ara la diferència sí que surt estadísticament significativa. Per fer aquestes prediccions sí que podem dir que el model és millor.

Més coses a fer...

Una variable explicativa que resultaria molt interessant incloure en el model és la meteorologia, ja que és evident que el vent o la pluja influeixen en el desenvolupament d'una etapa. El problema, però, és que no es disposa de dades fiables per poder quantificar aquesta influència. Encara que la meteorologia no es pugui preveure, sabent l'efecte que aquesta ha tingut en el passat, podríem descobrir els efectes d'altres variables que sí són predictibles. Posar en el mateix sac etapes que s'han disputat en condicions pèssimes i altres que s'han disputat en condicions òptimes ens pot impedir veure l'efecte d'altres variables òbvies, com per exemple que l'últim dia d'una gran volta els ciclistes sempre circulen amb més lentitud de l'habitual.

Pot ser interessant aplicar eines estadístiques en les prediccions dels temps de pas. En l'actualitat hi ha organitzacions que calculen els temps previstos de pas de forma totalment lineal (com és el cas de la *Vuelta*) i altres que apliquen una correcció segons l'orografia (com el *Tour*). L'objectiu seria intentar fer les prediccions dels temps de pas amb dues correccions diferents: l'orogràfica i la distància a meta. D'aquesta manera es facilitaria l'organització de la carrera (talls de carreteres, caravanes publicitàries...) però sobretot es podria facilitar als mitjans de comunicació, a determinats quilòmetres de finalitzar l'etapa, una estimació molt precisa de l'hora d'arribada. És a dir, es podria anar actualitzant les previsions a mida que es tingués nova informació.

També seria interessant caracteritzar les etapes que aporten més variabilitat al temps d'arribada; és a dir, aquelles que aporten més error, d'aquesta manera obtindríem una radiografia de les etapes amb un temps d'arribada més impredecible i es podrien prendre les decisions oportunes.

(Projecte de la Diplomatura d'Estadística, presentat el setembre de 1997 amb el títol "Resolució de problemes reals mitjançant el modelatge estadístic")

S'han disputat moltes Vueltas, Tours i Giros des que es va fer aquest projecte, i també han passat algunes coses al voltant del món del ciclisme, però l'afició i el seguiment dels mitjans de comunicació continua sent molt important.

Malgrat la seva antiguitat, i que les dades ja estan obsoletes (seria interessant veure com canvien les coses amb dades actuals) ens ha agradat incorporar aquest projecte perquè és un bon exemple del procés que se segueix en la construcció d'un model de regressió. Aquestes dades encara s'utilitzen ara per que els estudiants de la Diplomatura d'Estadística les analitzin i discuteixen les seves possibilitats per la construcció del models de previsió.



Román Peñas va fer la Diplomatura d'Estadística a la UPC i després una Llicenciatura en *Estadística e Investigação Operacional* a la Universitat de Lisboa. Va començar a treballar al Departament de Marketing Estratègic del Deutsche Bank, explotant la base de dades de clients mitjançant tècniques de modelatge estadístic. Després es va incorporar a l'empresa Masquelack, i va fer un MBA (Master in Business Administration) a l'IESE. Avui és el gerent d'aquesta empresa. En la seva època d'estudiant no només feia treballs sobre temes esportius, també practicava esport a nivell competitiu (pentaló modern, atletisme de fons i ciclisme amateur), però ens explica que aquesta faceta ara la té una mica abandonada.