

## IDEES I CONCEPTES SOBRE EL DISSENY EXPERIMENTAL I L'ANÀLISI ESTADÍSTICA

(Orozco F. 1984. Apunts seminari Experimentació Agrària. Document fotocopiats. SEA. Reus).

*A continuació a partir d'uns apunts lliurats per Orozco i d'apunts trets al seminari, juntament amb l'experiència personal es componen aquest apunts. Les notes pròpies estan en cursiva i en lletra de grandària més petita.*

### ANÀLISI ESTADÍSTICA I ENFOCAMENT CIENTÍFIC DELS PROBLEMES

L'**anàlisi estadística** és una eina que, en el cas de l'experimentació, serveix per obtenir, a partir de les dades i resultats, *probabilitats i prediccions* sobre la variable o variables estudiades. Per tant, no assegura res, ni se li pot demanar allò que no pot donar, ni s'ha d'aplicar rutinàriament ni sense saber, prèviament, si és apropiat o no al tipus d'experiència i de dades.

L'**enfocament científic** de l'experimentació ha de ser seriós, i, per tant, ha de seguir el següent camí o organigrama:

1. Reconèixer l'existència d'un **problema** (*que és diferent dels problemes de l'investigador, com per exemple tenir la necessitat de publicar, de recaptar diners públics, de fer una tesi, etc.*).
2. Un cop reconeguda l'existència del problema s'ha d'intentar **definir-lo**, *que és la millor manera de començar a solucionar-lo.*
3. Decidir quins **factors** i quins **nivells** dins de cada factor s'han d'incloure en l'experiment.
  - a. *Per exemple, si el problema és la taxa de greix molt baixa en un conjunt d'explotacions d'una comarca, s'haurà de definir molt bé el problema, seguint les següents etapes:*

1) *Revisió bibliogràfica*

2) *Estudiar la distribució de la taxa de greix segons explotacions i segons estacions meteorològiques*

3) *Estudiar el tipus de racionament per a cadascuna de les explotacions i les diferències entre d'elles*

4) *Formular hipòtesi de perquè la taxa de greix és baixa*

5) *Plantejar un estudi per a comprovar la veracitat o no de la hipòtesi.*

*Imaginem que en totes les explotacions el percentatge de la incorporació de farratges, en MS, és molt baix, ¿caldria plantejar una experimentació per comprovar si els percentatges baixos en farratge són la causa del problema creat?. Tota la bibliografia n'és plena d'exemples semblants, tant des de tractats consolidats fins a articles puntuals. Possiblement s'hauria d'estudiar la conveniència de realitzar o no una experimentació de demostració de resultats. Per a mi seria així, però és possible que d'altres professionals que tenen accés i assessoren les explotacions opinin que el perquè les taxes de*

*greix siguin tan baixes és a causa d'altres factors. S'entra, per tant, a un litigi de credibilitat de professionals. L'extensionista haurà d'emprar mètodes de persuasió, i res millor que convèncer mitjançant una prova, la més senzilla i rigorosa alhora. L'extensionista haurà de comptar fins l'última conseqüència qualsevol canvi proposat.*

*Tornant, però al tema objecte d'aquest apartat, cal que sapiguem què són factors i què són nivells de cada factor en el si d'una experimentació.*

*Per exemple, si volem provar un pinso en una ració per a vaques de llet: si hi ha tres tipus de pinso, el factor pinso tindrà tres nivells, i si, a més a més, per a cada pinso s'ha d'estudiar la dosi, aquesta serà un altre factor d'estudi, i si l'estudi és només entre dues dosis, el factor dosi tindrà dos nivells, si aquests dos factors pinso i dosi s'han d'estudiar en dos grups de vaques, per exemple en el postpart i en el pic de la lactació, hi haurà el factor grup amb dos nivells.*

*Els tractaments possibles serien el producte dels valors dels nivells de cada factor, en aquest cas  $3 \times 2 \times 2 = 12$  tractaments. Evidentment, que la despesa que s'originaria seria molt alta i possiblement els resultats no donarien satisfacció al problema plantejat. El que es fa és acotar l'univers del problema i amb ell l'experiència a realitzar. La pràctica ens informa que una cosa és el pinso o concentrat per al post part i l'altre per altres èpoques del cicle productiu. Per tant, el factor grup pot passar a ser dins d'aquest plantejament un factor controlat, i potser amb dos nivells, vaques de primer part i vaques de part superior, totes en el post part. En aquest cas els tractaments seran  $3 \times 2 = 6$  (pinso A dosi 1, pinso A dosi 2, pinso B dosi 1, etc.), a cada bloc s'han de provar tots els tractaments, segons si hi ha d'haver repeticions o no l'experiència es complicarà o no. El nombre mínim de vaques –unitats experimentals– serà de 6 a cada bloc.*

4. Especificar quina o quines **variables** s'han de mesurar. En tota experimentació hi ha una variable objectiu o variable dependent, que és la que s'ha d'estudiar, però això no significa que sigui la única. (En l'exemple d'abans la variable objectiu serà la taxa de greix, però és evident que no se la pot deslligar de la resta de variables productives, litres de llet, taxa de proteïna, cèl·lules somàtiques, etc., i fins i tot d'altres variables relatives al consum d'altres ingredients o del total de la ració. Això, lògicament, complica l'estudi, i és evident que com més es vulgui aproximar a la realitat de les explotacions més complicat serà el model, i fins i tot pot esdevenir-se inviable econòmicament i, també, per manca de materials. El que es recomana és disposar sempre d'una bona revisió bibliogràfica abans de plantejar una experimentació, **no fos cas que ni calgués fer-la**. La variable objectiu o dependent és la que s'estudia en funció de moltes altres).
5. Definir l'**espai d'inferència** per al problema reconegut, objecte d'estudi. (Això és important ja que pot donar o treure rellevància a l'experimentació. No és el mateix fer una experimentació al detall que a l'engròs, si s'ha de provar un pinso o un additiu per a una empresa i d'ell no es pot fer cap inferència, ¿és lícit parlar d'investigació o simplement ets un intermediari?, sempre en el ben entès que se suposa que el que fa l'experimentació a la carta compleix amb el rigor científic i ètic, i no s'escuda en unes sigles oficials. A part d'aquests casos, l'**espai d'inferència** és l'espai dins del qual, si es mantenen unes condicions determinades, es compleixen els resultats de l'experiència realitzada. Per exemple, si es prova un ingredient determinat i es conclou que la seva incorporació a la ració estudiada incrementa la producció de llet, s'ha d'estar ben segur que es controlen factors estacionals, no fos cas que això només passes a la primavera).

6. Definir o realitzar l'**esquema de l'anàlisi estadística** que correspon al disseny decidit.
7. Quan es planteja una experimentació o un disseny experimental es té ben clar allò que és la unitat experimental – una vaca, un grup de vaques, una parcel·la, etc. – que és *el lloc* on es realitzarà el tractament. S'han de **seleccionar** les unitats experimentals **a l'atzar**. *(Si no s'ha d'acomplir amb aquesta premissa és millor no començar, ja que a la llarga es descobreix l'errada o el mal plantejament)(En el punt 3 d'aquest organigrama o camí experimental ja s'ha explicat el que és un factor, un nivell, un tractament, i una unitat experimental).*
8. **Assignar** a cada unitat experimental els **tractaments**. *(Per exemple, continuant amb el que es deia al punt 3, en el bloc de vaques de primer part s'elegiran a l'atzar les vaques a les quals se les assignarà un tractament. Si fos el cas que només hi ha 6 vaques que compleixen amb els requisits experimentals, l'atzar significa que s'haurà de sortejar quin tractament per a cada vaca). I recordar, en l'exemple, cada tractament és pinso A dosi 1, pinso A dosi 2, etc.).*
9. **Realitzar** l'experiment.
10. **Presa de dades** dels resultats.
11. **Anàlisi de dades**.
12. **Interpretar** resultats.
13. **Conclusions**.
14. **Aplicar** els resultats i conclusions.

L'èxit i el rigor dels resultats i de la inferència que es faci dependran del seguiment i/o compliment de l'anterior guia o organigrama.

Sovint seria suficient amb l'aprenentatge i interiorització de la guia, però per recalcar-ho el que es fa és alertar d'allò que no s'ha de fer. Orozco diu, entre d'altres exemples, que mai no s'ha d'experimentar sense que prèviament s'hagi fet un estudi del disseny. No obstant, cada cop és més usual analitzar dades sense cap disseny previ; de fet les avantatges dels paquets informàtics de tractament i anàlisi de dades permeten anar més enllà d'allò que diu l'anterior guia, però no s'ha de confondre l'experimentació amb el tractament de dades, i, és possible, que de la mateixa manera que hi ha una mena de *decàleg* a complir en l'experimentació, també hi hauria de ser en el tractament de dades. Tornant al tema de l'experimentació, a cada problema li correspon un disseny adequat, i només un, però el que no s'ha de fer és assignar per que sí un disseny a una realitat o problema que s'ha d'estudiar. És una pràctica molt estesa començar per dir "farem un quadrat llatí" per estudiar..., aquest procediment és una rutina que s'ha d'eliminar. És convenient estudiar a fons cada cas, ja que el personal, el pressupost, el temps, entre d'altres, seran els que en definitiva marcaran el disseny, que sempre acaba sent un disseny de mínims.

El que tampoc no s'ha de fer és analitzar a posteriori dades existents per d'altres raons. *Aquest punt és una mica com el que ja s'ha comentat abans, possiblement el que es vol dir amb això és que si es parla d'experimentació s'ha de seguir l'anterior guia, i si no l'estudi és una altra cosa, per tant, no és que no sigui lícit o vàlid analitzar dades d'altres assaigs o similars, el que s'ha de fer en tot cas és advertir-lo i, si se li vol donar rigor, explicar l'objectiu de l'anàlisi a priori.*

I, per últim, a criteri de Orozco, el que mai no s'ha de fer és dissenyar i/o analitzar per tal d'ajustar-se a les nostres conveniències. *El sentit d'aquesta advertència és que no s'ha de forçar el disseny o l'anàlisi per obtenir uns resultats desitjats, cal que siguin els fets els tossuts no nosaltres.*

## ELECCIÓ DEL DISSENY

Un dels principals problemes de l'experimentació és **elegir el disseny** que millor s'adapti al problema plantejat. Seguint amb els punts de la guia, quan se sap quin problema i com definir-lo, punts 1 i 2, s'ha decidit quins factors i quins nivells de cadascun s'han d'incloure a l'experiència, punt 3, i se sap quines variables s'han de mesurar, punt 4, i a més es té una bona noció o identificació de la inferència que se li vol donar als resultats, punt 5, després s'ha de plantejar l'anàlisi, punt 6. El que s'anomena disseny és un conjunt de tots aquests punts, de l'1 al 6, ja que a continuació ve el posar-lo en pràctica. Hi ha tendència a, un cop s'ha definit el problema, intentar estudiar o controlar molts de factors amb molts de nivells, i no es pensa en que sovint no hi hauria suficients unitats experimentals, o que els recursos personals i materials són escassos, a més de que no tot s'ha d'experimentar.

L'idea fonamental és no aplicar dissenys clàssics per rutina. No s'ha de ser esclau de dissenys prefabricats. Tot i això, si es té un bon coneixement del que és l'anàlisi estadística no és necessari conèixer els diferents tipus de dissenys, surten automàticament. Una recomanació pràctica és fer un esquema gràfic del problema plantejat, amb els diferents factors i nivells, per tal de no perdre la visió del conjunt, i, alhora, poder fer el disseny més adient.

## UNIVERS O ESPAI D'INFERÈNCIA

S'ha de tenir molta precaució si es volen generalitzar els resultats. La mostra ha de ser representativa de la població a la qual es volen inferir els resultats. És més fàcil agafar una mostra d'una població, que a través dels resultats d'una mostra fer-los extensius o aplicar-los a una població. En millora animal s'han comès molts d'errors, ja que s'inferia sense comptar amb l'entorn.

## L'ATZAR

Quan es parla de dissenys experimentals es parla de l'atzar, que és la base de tot, del disseny correcte i de l'anàlisi coherent. Les unitats experimentals, punt 7, s'han de distribuir a l'atzar, i, en alguns casos, per raons ineludibles si es fa sistemàticament l'anàlisi serà diferent. Concretament l'anàlisi d'En Fisher no es podrà fer, i, en qualsevol cas, les interpretacions s'hauran de fer amb precaució. Els tipus d'anàlisi formen una unitat, i són els següents: **anàlisi de variança**, **anàlisi de regressió**, i **anàlisi de covariança**.

Sovint es fan algunes restriccions en l'aleatorització de les unitats experimentals, alguns cops són ineludibles, d'altres per conveniència, però sempre que es facin s'han de prendre precaucions i advertir-ho, sinó es desvirtua l'anàlisi de la variança.

Els **factors** d'una experiència poden ser de tres tipus: d'interès, que són els objecte de l'estudi, com per exemple el factor pinso és un factor d'interès ja que es vol provar el tipus de pinso, o bé el factor sistema d'alimentació quan es volen comparar dos o més sistemes, etc., factors per reduir la variabilitat

residual, per exemple fer lots o blocs que siguin homogenis, etc., factors per augmentar la variabilitat residual, són les repeticions o rèpliques que el que fan és augmentar  $n$  i amb això es potència l'experiència amb més precisió.

## NIVELL DE SIGNIFICACIÓ

Aquest és un problema al qual s'enfronten tots els que dissenyen una experimentació. *Ara amb els paquets informàtics (SAS, SPSS, etc.) s'analitzen les dades i surt la significació que li correspon, però no està de més llegir els consells que a tal respecte feia Orozco.*

Segons l'objectiu que es pretén, en front d'un problema plantejat, l'investigador ha d'elegir *a priori* el nivell de significació ajustat, i no s'ha d'aferrar als clàssics  $0,5$ ,  $0,01$ ,  $0,001$ , sinó que ha de saber que en agricultura sovint el  $0,1$  (10%) seria un bon nivell, atesa la gran quantitat de factors interrelacionats i de difícil concreció. *El problema sorgeix quan els avaluadors de la proposta del disseny, o els que s'interessen pel problema, no donin credibilitat als materials i mètodes i rebutgin el plantejament. Possiblement, els cal una immersió en la realitat de l'agricultura per adquirir més flexibilitat en els plantejaments tan encarcarats, que ells creuen rigorosos.*

En tot cas, el que ha de fer l'investigador és elegir *a priori* el nivell de significació amb el qual creu s'acompleixen les expectatives posades en el disseny.

## FACTORS SUBORDINATS

Els factors subordinats o encreuats, també anomenats jeràrquics o factorials, poden classificar-se en tres tipus:

- Subordinació conceptual o intrínseca, com per exemple en races o varietats, marques d'alguns productes, etc., s'estudia el factor varietat d'ordi, i dins d'ell s'estudien tres varietats, etc.
- Subordinació per limitació o conveniència, és el cas de quan, per exemple, s'estudia la descendència d'un toro, on el factor subordinat són les vaques.
- Subordinació artificial o errònia, és, lògicament, la més perillosa ja que denota desconeixent de la relació dels factors.

El problema que pot originar la subordinació de factors és la possible interacció entre ells.

## NIVELLS DELS FACTORS, ELECCIÓ A L'ATZAR O FIXA

En els factores d'interès la determinació dels nivells ha de ser obvia, almenys si se sap que és el que es vol investigar. En canvi, en els factors afegits, bé per reduir la variabilitat residual o bé per augmentar la precisió de l'anàlisi, s'ha d'anar en compte ja que si s'elegeixen erròniament, pel fet que són subordinats erronis i hi ha interacció entre d'ells, s'augmenta la variabilitat i es disminueix la precisió. Només el saber sobre allò que s'investiga dóna seguretat en l'elecció.

En funció de com s'hagin elegit els nivells d'un factor, si és a l'atzar, l'anàlisi ha de donar només l'efecte general del factor i les estimes de la varianza, i si l'elecció ha estat fixa, l'anàlisi ha de donar, fonamentalment, la comparació entre els efectes de cada factor.

## INTERACCIONS, CONCEPTES I CONSEQÜÈNCIES

Les interaccions entre factors poden ser de caràcter quantitatiu o qualitatiu. Les quantitatives no desfiguren o no encobreixen l'ordre de cada nivell d'un factor en considerar cada nivell de l'altre factor. Sovint es poden eliminar canviant l'escala. Les qualitatives són més importants o transcendents, ja que sí que canvien o encobreixen l'ordre de cada nivell d'un factor.

És molt freqüent que en un model no es considerin les interaccions possibles dels factors d'interès, amb aquells que s'hi afegeixen per tenir una major precisió – blocs, repeticions, etc.-, i, això, genera problemes i desvirtua l'anàlisi. Si els nivells d'un factor són fixos, i entre ells hi ha interacció qualitativa, no té cap sentit comparar les seves mitjanes.

## ENGLOBAR O ELIMINAR FACTORS: TÈCNICA DEL *POOL*

És una tècnica poc emprada malgrat els aspectes positius que té, entre els quals podem citar els següents:

- Hi pot haver una reducció del terme que actua com *error* a la prova F.
- Els graus de llibertat per aquest *error* s'augmenten.
- Es redueix la participació de la varianza cap als vertaders components, segons els factors d'influència, al menys cap als més probables.
- Tot això va en la direcció d'una major precisió a les proves de significació dels factors restants.

La decisió d'englobar o d'eliminar factors ha de tenir un ordre lògic. En primer lloc, s'han d'eliminar aquells inclosos per reduir la varianza residual, sempre que s'hagi decidit que no presenten efecte probable. A continuació, s'eliminaran aquells que foren afegits per augmentar la precisió – repeticions, blocs, etc. -, hi ha un aprofitament millor del major nombre d'observacions. En tercer lloc, s'han

d'eliminar les interaccions, començant per les més complexes i de menys interès, i, per últim, i això és més discutible, podem eliminar els factors d'interès o objectiu de l'anàlisi, segons els nivells siguin fixos o a l'atzar.

## REPETICIONS

Les repeticions poden ser a través del temps o de l'espai, i s'ha d'anar en compte i no confondre factors temporals o factors locals amb les repeticions en el temps i en l'espai que són repeticions d'una part o del total de l'experiment. *Quan analitzem o estudiem la producció d'una vaca o del conjunt d'una explotació ho fem també en el temps i això no és una repetició.* Orozco distingeix entre repeticions internes i externes, les internes no són vertaderes repeticions ja que són el nombre d'observacions de l'última subclasse, per exemple. Les externes tenen similitud conceptual amb els blocs.

## CONCEPTES SOBRE ANÀLISI AMB SUBCLASSES DESIGUALS, DISSENYS DESEQUILIBRATS

Classes	A <sub>1</sub>		A <sub>2</sub>	
Subclasses	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>
<i>Dades</i>	x	x	x	x
	x	x	x	x
		x	x	x
				x

No hi ha normes de caràcter general per actuar en cas de manca de dades, ja que poden presentar-se molts tipus de desigualtats, i en molts casos s'ha d'actuar de manera dràstica.

Si el que pertorba és un factor afegit per sospita d'influència, i aquesta pertorbació és molt important, és millor eliminar-lo del disseny.

Si el factor pertorbador és de nivells quantitatius, és millor plantejar una anàlisi de regressió o la eliminació del seu efecte mitjançant l'anàlisi de covariància.

També pot descompondre's el disseny total en parts equilibrades, tot i que es perdi informació encreuada (interaccions).

## COMPARACIÓ DE MITJANES

Mai no s'ha de fer la comparació de mitjanes amb el mateix mètode per rutina. S'han de conèixer els diferents mètodes i aplicar el més convenient, i el que millor s'adapti a l'objectiu plantejat. Estudar els riscos  $\alpha$  i  $\beta$ . Orozco adverteix de les actituds de l'experimentador, que tendeix, o bé a elegir els casos millors, assegurant-se molt, amb el risc de perdre'n algun de bo, o bé a fer una eliminació prèvia del pitjor, a costa de deixar com a bo allò que no ho és.