

LA ENSEÑANZA DEL DISEÑO DE EXPERIMENTOS EN INGENIERÍA: ALGUNAS EXPERIENCIAS PRÁCTICAS.

D. PEÑA, C. MOLINA Y M. CORDERO
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID.

Este trabajo presenta nuestras experiencias enseñando diseño de experimentos en una Escuela de Ingenieros. Un objetivo del curso ha sido proporcionar a los estudiantes experiencias en la investigación empírica mediante la realización de trabajos elegidos por ellos mismos. Se analiza el papel del diseño de experimentos en la formación estadística de científicos, y la importancia del proceso iterativo en el aprendizaje de cualquier investigación científica.

Keywords: Statistic Teaching; Experiment Design; Factorial Design.

1. INTRODUCCION

De las dos etapas de una investigación científica -recogida de datos y análisis de los mismos- el diseño de la recogida de información es especialmente crucial: es frecuente que un análisis simple de unos datos en un experimento bien diseñado proporcione mucha información, pero ningún análisis estadístico puede crearla en una muestra que no la contiene.

Este punto fue certeramente comprendido por Fisher, creador de los principios del diseño experimental moderno (1925-30). Fisher desarrolló esta teoría para la investigación en Agricultura y en Biología donde, la variabilidad experimental o "ruido" es grande en relación a "la señal" producida por las variables objeto de la investigación. Por tanto, detectar efectos de estas variables requiere: (1) un diseño adecuado y (2) un análisis estadístico que permita separar los efectos del ruido de los efectos de los tratamientos o variables. En este tipo de experimentos, la recogida de información es lenta. Así, p.e., se requiere un año para comprobar que una nueva variedad de trigo produce más rendimiento o, un período de gestación de varias semanas, para conocer los efectos, en los descendientes, de cruces entre ratones.

Por el contrario, la experimentación en las Ciencias Físicas y en Ingeniería se caracteriza, en primer lugar, porque, diseñando adecuadamente el experimento, los efectos de los tratamientos suelen ser grandes en relación al error experimental, es decir, se da una alta relación señal/ruido; en segundo lugar, a diferencia de lo que ocurre en la Agricultura, el número de factores a considerar suele ser muy elevado y el diseño de experimentos es

- D. Peña, C. Molina y M. Cordero. E.T.S.I.I. Cat. de Estadística de la U.P.M. Madrid
- Article rebut al Maig de 1986.

especialmente útil para estudiar las interacciones que pueden producirse en ellos. Finalmente, los datos se obtienen, por lo general, en un breve período de tiempo.

Estas diferencias justifican que, en Agricultura y Biología, los diseños más frecuentes sean bloques aleatorizados, cuadrados latinos, grecolatinos y diseños tipo split-plots, y en las Ciencias Físicas e Ingeniería se utilicen los diseños factoriales fraccionales a dos niveles, frecuentemente unidos a técnicas secuenciales de experimentación del tipo operación evolutiva (Box y Draper, (1964)) o análisis de superficies de respuesta.

En la sección dos de este trabajo, analizamos brevemente el papel del diseño de experimentos, en la formación estadística de físicos e ingenieros.

En la sección tres presentamos nuestras experiencias: objetivos marcados en el curso; experimentación de los propios alumnos y del conjunto de la clase; y evaluación de estas experiencias.

2. LA IMPORTANCIA DEL DISEÑO DE EXPERIMENTOS EN LA FORMACION DEL INGENIERO

Tradicionalmente, la enseñanza de la Estadística en las Ciencias Físicas e Ingeniería, ha seguido el esquema de cualquier curso de Estadística Matemática. Una excepción a este enfoque son los libros de Mothes (1960) y Browker y Lieberman (1981), por su carácter aplicado a la Ingeniería o su tratamiento más extenso del Control de Calidad.

En consecuencia, el diseño de experimentos ha estado ausente en la formación de los ingenieros. Esto ha contribuido a proporcionar una formación estadística, puramente teórica, sin contacto alguno con la realidad objeto de estudio. Supongamos un clásico ejemplo, de libro de texto de Estadística para Ingenieros: la aplicación del contraste de hipótesis para comparar dos procesos. El problema se plantea como: dados n datos del rendimiento del proceso A y m de otro proceso B, comprobar si el rendimiento de A es mayor que el de B. Este es un planteamiento muy parcial del problema, ya que:

1º. Si no hemos tenido en cuenta los factores que pueden influir en la variabilidad de la respuesta, el test puede dar un resultado erróneo. En cualquier caso, la potencia será baja, al no controlar las condiciones experimentales fuente de gran variabilidad.

2º. Si controlamos a los mismos niveles todos los factores que afectan a la respuesta, para hacer las condiciones homogéneas, surgen dos problemas:

a) Dificultad en la generalización de las conclusiones: no podemos garantizar que, al cambiar las condiciones experimentales, la supremacía del proceso A se mantenga.

b) Es un mal procedimiento de experimentación porque mueve solo uno de los factores (el tipo de proceso) que puede afectar a la respuesta. En estas condiciones, se conocerá la influencia del tipo de proceso, cuando los

otros permanecen constantes, pero no se sabrá si esta influencia es diferente en los niveles altos y en los niveles bajos de las otras variables.

Estas dificultades desaparecen con un diseño factorial: según este método, con un número total de ensayos igual al supuesto en el método clásico, se tiene una precisión superior. Es fácil comprobar que, para dos factores, un diseño clásico, requiere un 50% más de observaciones que un diseño factorial, para obtener estimadores con la misma varianza.

Con él, además, es posible determinar los efectos de las interacciones cuando existen.

En resumen, con el mismo número de mediciones, se obtiene una precisión mayor y más información que con el método clásico o tradicional.

El ejemplo planteado del contraste de hipótesis, como tantos otros, requiere del alumno únicamente una capacidad mecánica de aplicación de la técnica correspondiente, lejos del tipo de problemas que tendrá que resolver en la práctica: seleccionar el problema que merece ser estudiado, identificar variables (factores) que influyen en la respuesta, medir los resultados, decidir cuales se controlan y cuales se aleatorizan para eliminar sus efectos, realizar el experimento y formular sus conclusiones. Por último, redactar todas estas etapas, justificando el procedimiento seguido.

Está claro que los problemas actuales no pueden resolverse de manera mecánica. Las técnicas de análisis estadístico han de introducirse según se vayan necesitando. Pero, más importante que aprender nuevas técnicas, es crear un pensamiento estadístico, lo que constituye para el que enseña una exigencia mayor.

3. COMENTARIOS SOBRE NUESTRA EXPERIENCIA

En la E.T.S.I.I. de Madrid el Diseño de Experimentos forma parte del programa de la asignatura "ESTADISTICA" que se imparte en 3º. curso de carrera.

El programa general de la asignatura es el siguiente: Estadística descriptiva (medio mes), Teoría de la Probabilidad (mes y medio), (Bases de Ingeniería Estadística) (mes y medio), Control de Calidad (medio mes), Diseño de experimentos y Análisis de la Varianza (mes y medio), Regresión (1 mes).

Nuestro objetivo en lo que respecta a la parte de Diseño de experimentos es que, al finalizar el curso, el alumno sea capaz de diseñar un experimento factorial, estimar los efectos y contrastar la validez del modelo, así como de redactar un informe resumen del estudio estadístico realizado.

Las experiencias fueron de dos tipos: generales (realizadas en clase), individuales (trabajos personales) realizados por alumnos.

Experimentación en la clase

Las prácticas generales venían marcadas por dos objetivos diferentes: Introducir mediante la experimentación algunos conceptos estadísticos que

no se habían estudiado previamente, y marcar pautas para la realización y el análisis de posteriores trabajos que pudieran elaborar los estudiantes.

Los ejemplos siguientes ilustran cada uno de estos dos objetivos.

Ejemplo 1. En pequeñas calculadoras programables simulamos un proceso industrial que los alumnos desconocían y venía dado por la siguiente expresión:

$$z = -0,25 x^2 - 0,55 y^2 + 0,52 xy - 5,98 x + 34,22 y - 545,7 + u$$

donde u es el "ruido" que se distribuye según una normal (0,15).

El experimento consistía en mejorar la variable respuesta z mediante diseños 2^2 . Los estudiantes partían del punto (30,30) y moviendo (aumentando o disminuyendo) los niveles de los factores con incrementos nunca superiores a cinco, fueron mejorando la respuesta.

Trabajaron en grupos de cinco o seis personas durante dos horas. La clase finalizó con una breve explicación de la OPEV (operación evolutiva) y del método secuencial del proceso de investigación industrial.

Ejemplo 2. El experimento consistió en analizar la variable "error cometido al adivinar la longitud de una línea recta dibujada en el encerado". Los tres factores considerados fueron: Posición de la línea: horizontal, vertical, inclinada; Terminación: en forma de segmento (---), de punta de flecha (<---), de cola de flecha (--->). Los defectos en la vista: Miopía, astigmatismo, vista normal. El tipo de diseño fue cuadrado latino. Los alumnos participantes fueron elegidos al azar.

Experimentación individual de los alumnos

Los alumnos realizaron 83 experimentos cuyos títulos (variable respuesta) y factores se resumen en el Apéndice.

Son todos diseños factoriales a dos niveles que van desde diseños 2^3 hasta fracciones de diseños 2^n .

Los trabajos son totalmente originales. El tema era libre, si bien se dieron algunas sugerencias tomadas en las listas publicadas por Hunter (1975).

Los temas elegidos se pueden dividir en tres bloques:

A. Basados en las aficiones de los alumnos. Por ejemplo: "Estudio para comparar la velocidad de dos coches de Scalextric". Los factores fueron: tipo de coche (Ford-GT, Porsche-917), vía por la que circula (dentro o fuera), peralte (con o sin), persona que maneja el coche. Todos los efectos resultaron ser significativos, y la conclusión fue: El Porsche es más rápido que el Ford, la vía exterior (aunque es más largo el recorrido) permite dar las vueltas en menos tiempo, "debido a que la vía interior tiene más curvatura y no se puede ir a gran velocidad porque el coche se saldría de la pista", -explica el estudiante-, se corre más con peralte que sin él; hay interacción positiva vía-coche.

Otros ejemplos de este grupo son "Influencia en el número de peces capturados de: el pescador, el lugar, el periodo del día".

B. Dar respuesta a un interrogante: "Edad aparentada", según los factores: vestido (con americana y corbata o en vaqueros), ir o no afeitado, llevar o no gafas. Las conclusiones fueron: con americana y corbata se representa más edad, así como sin afeitar; las gafas no influyen, pero si interactúan con el afeitado de forma que, recién afeitados, y con gafas hace más viejo. El experimento lo realizó también acompañándose de un chico y resultó ser idéntico el resultado.

Otros ejemplos de este grupo son: "Tiempo de marchitación de las flores", según los factores: tipo de flor (rosa o clavel), lugar (dentro de casa o fuera), tratamiento del agua (cambiándole todos los días o no).

C. Relacionados con la carrera: "Giro de una hélice como consecuencia del calentamiento del aire". Factores: número de fuentes de calor (4 ó 3), número de alambres de la hélice (6 ó 8), con o sin peso adicional. Un aspecto interesante de este trabajo es que el estudiante "realizó" todo: él mismo construyó una hélice en su casa y utilizó como fuentes de calor velas de cera. Esperaba hasta que la hélice alcanzaba una determinada velocidad y apagaba las velas esperando a que la hélice se parase. Los tres efectos resultaron ser significativos.

Otros ejemplos son: "Pérdida de calor en la conducción de fluido por tubería", según los factores: diámetro exterior de la tubería, diámetro interior de la tubería, espesor del aislante, tipo de conexión (libre o forzada)".

A lo largo de todo el proceso de elaboración del experimento los estudiantes se han encontrado con dificultades, el hecho de salvarlas constituye lo positivo. Son muchos los casos en que, vistos los resultados, han vuelto a rehacer todo el proceso. Tal es el caso de un chico que estudiaba "Conductividad eléctrica del cuerpo humano", y detectó una variable que al principio no había considerado. Al analizar los datos y ver que los valores altos y bajos no se correspondían con los niveles de ninguno de los factores. Observando las horas a las que había realizado los experimentos, se dio cuenta que este nuevo factor era la digestión. Un nuevo diseño y un nuevo análisis confirmó su hipótesis. Otro alumno estudiando el crecimiento de la levadura observó como, para que la masa se elevase, necesitaba incluir azúcar en la mezcla; sin azúcar la levadura no crecía.

En algunos casos han creado ellos mismos el utensilio para realizar su experimento (p.e. la hélice antes descrita), otros han tenido que idear un instrumento o forma de medida, por ejemplo en el trabajo "sabor picante de los pimientos de Padrón", el alumno lo resolvió haciendo que una misma persona fuese la que hiciese todas las pruebas y respondiese según un baremo que él había establecido, o en el experimento del piano: nº de errores en la grabación.

En general, los alumnos han comprendido y aplicado los principios de aleatorización y comparaciones en bloques, y son frecuentes frases como "aleatoricé entre los miembros de la familia", "el experimento lo realizó mi hermano, ya que él es quien tiene práctica, mi falta de precisión hubiese dado lugar a excesiva variabilidad y no habría podido detectar los efectos de los factores" (precisión balística). "Utilicé siempre la misma cacerola en la misma intensidad de fuego" (cocción de fideos).

La media de las calificaciones de estos trabajos ha sido ocho.

El haber realizado el experimento hizo que los individuos pasasen de ser sujetos pasivos a "crear" algo nuevo, a ver la utilidad de una teoría más o menos aprendida. Ha aumentado la motivación y el gusto por la asignatura como ellos mismos nos decían.

En los trabajos fueron apareciendo conceptos que no se habían explicado en clase, como distribuciones truncadas, mezcladas, etc.

No cabe duda de que, en general, todos hemos aprendido algo, ya sea conocimiento estadístico, o aspectos de la realidad cotidiana.

Algunos alumnos terminaron sus trabajos con un epígrafe que decía: "ideas para posibles investigaciones posteriores". Esperemos que en sus problemas reales en la industria, sus experiencias también puedan finalizar así.

Agradecimientos

Agradecemos a nuestros compañeros en la Cátedra su colaboración en la puesta en práctica de estas experiencias.

BIBLIOGRAFIA

BOWKER, A.H., LIEBERMAN, G.J. (1981), Estadística para Ingenieros, Prentice/Hall International.

BOX, G.E.P. y DRAPER, N.R. (1969), Evolutionary Operation, Wiley.

HUNTER, W.G. (1976), Some ideas about teaching design of experiments with 25 examples of experiments conducted by students, *American Statistician*, 31, 12.

MOTHES, J. (1960), Estadística aplicada a la Ingeniería, Ariel.

FACTORES	RESUESTA	RESUESTA	RESUESTA
<ol style="list-style-type: none"> 1. Día (sábado o domingo), hora (16-17; 22-23); canal de TVE. 2. Tipo de operación (x ó ÷); con un ojo tapado; mental o con lápiz y papel. 3. Color de papel y de la letra (blanco sobre negro o al revés); forma de memorización (leídos en voz baja o al- ta); con o sin música ambiental. 4. Tipo de día (laboral o festivo); hora (mediocosa o medianoche); piso del edificio. 5. Ruido, cansancio, grado de dificultad. 6. Aeropuerto, trimestre, tipo de vuelo. 7. Dormido o despierto; digestión o no; reposo o no. 8. Tipo de flor (rosas o clavel); lugar (dentro o fuera) tratamiento del agua (cambiándola o no). 9. Tipo de cacerola, tapada o no, con o sin sal. 10. Iluminación de la dina, ojo con el que se apunta, distancia. 11. Camino de ida o vuelta (son distin- tos), zapatos (de calle o de depor- te); conducción (relajada o "depor- tiva"); por la mañana o por la tar- de. 12. Tipo de pila; circuito; tiempo de co- nexión, temperatura (a 20°C o 0°C). 13. Con o sin trase/con o sin falda; afei- tado/maquillada; llevar o no grasas. 14. Distancia, posición (de frente o lla- deado) forma de tiro (pensado o en sus- pensión). 	<ul style="list-style-type: none"> - Audiencia de TVE durante las horas punta del fin de semana. - Velocidad en la resolución de ope- raciones algebraicas. - Memorización de palabras. - Homogeneidad de la tensión de lle- vada de la corriente eléctrica en un edificio. - Memorización de palabras. - Nº de pasajeros. - Cantidad de sangre bombeada por el corazón humano de una persona físi- camente normal. - Tiempo de marcha/tación de las fio- res. - Tiempo de cocción de fideos. - Suma de puntos obtenidos al lanzar 6 dados a una dina. - Tiempo que se tarda en el trayecto domicilio-escuela efectuado en bi- cicleta. - Capacidad de descarga de una pila. - Edad aparentada según sexo. - Efectividad de tiro a una canasta de baloncesto. 	<ol style="list-style-type: none"> 15. Tolerancia, tiempo de funcionamiento, valor de la resistencia, temperatura. 16. Flexiones, saltos, terreno. 17. Sal, azúcar, closure de amonio, (to- dos ellos con o sin). 18. Longitud de la pendiente; ángulo, cli- se de suizo, tipo de moneda que se desiza. 19. Tamaño, forma, color. 20. Con o sin traje, gatas de vol, afe- tado o no. 21. Consumo de alcohol, cansancio, ilumi- nación. 22. Sexo, edad, tabaco. 23. Tamaño del teclado, agilidad manual, con o sin sueño. 24. Tipo de Tabaco, con el pitillo en re- poso o en movimiento, en posición ho- rizontal o vertical hacia arriba. 25. Vestimenta, calzado y terreno. 26. Inoculación o no, de ciertas bacte- rias; tratado o no con fertilizantes nitrogenados; tratado con fertilizan- tes que contienen P.K. (a dos nive- les). 27. Bujía (usada o nueva); gasolina con mayor o menor riqueza en la mezcla) (tubo de escape (original o tubarra)). 28. Proximidad o no de exámenes; días lec- tivos o fines de semana; final de cui- so o no. 	<ul style="list-style-type: none"> - Variabilidad de la resistencia eléc- trica al paso de una corriente. - Pulsaciones al realizar un ejerci- cio físico. - Tiempo de ebullición del agua en función del - Coeficiente de rozamiento. - Sabor picante de los pimientos de Padrón. - ¿Cómo se liga mejor? - Rendimiento en el trabajo. - Tensión arterial sistólica; - Velocidad en el tecléo en una cal- culadora de bolsillo. - Tiempo que tarda en consumirse un cigarrillo. - Velocidad de un atleta. - Peso en gramos de 100 semillas de eltramuz. - Rendimiento de un ciclomotor. - Número de horas de estudio.

APENDICE

Trabajos realizados por los alumnos de 3º de la
E.T.S.I.I., Universidad Politécnica de Madrid,
Curso (1984-1985)

FACTORES	RESPUESTA	FACTORES	RESPUESTA
<p>29. Calentamiento de los músculos de la mano (dos horas al día o nada de velocidad (excesivamente rápida o lenta); altura de la banqueta (correcta o excesivamente baja)).</p> <p>30. Beber, fumar, relaciones sexuales.</p> <p>31. Temperatura ambiente. Música ambiental (con o sin letra). Volumen de la música. Postura (sentado o tumbado en la cama).</p> <p>32. Sal (con ella o sin ella) azúcar (seis o menos) temperatura (2 niveles) y harina (2 tipos).</p> <p>33. Tiempo; posición (de pie o sentado); fatiga (0 u 80 pulsaciones por minuto); Aumento de la digestión o no.</p> <p>34. Número de focos térmicos; Nº de aspás; con o sin peso adicional.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Número de fallos de una interpretación musical al piano. - Estado de ánimo. - Rendimiento intelectual (hacer crucigrama de igual dificultad). - Crecimiento de la levadura. - Resistencia del cuerpo humano al paso de la corriente eléctrica. - Velocidad de giro de una hélice con consecuencia del calentamiento del aire. - Velocidad en la resolución de un test de ordenador. - Rendimiento en el trabajo. - Calificación en la asignatura de Mecánica de 2º Curso de la E.T.S.I.I. en 1983-1984. - Velocidad de lectura. - Prueba balística de precisión. - Tiempo que transcurre desde que se terminó de marcar el nº hasta que el teléfono da señal de llamada. 	<p>41. Concentración, temperatura y caudalizador.</p> <p>42. Capa fina o gruesa; con o sin disolvente; secado al aire con secador.</p> <p>43. Cantidad de agua, espita de gas pequeña o grande; cantidad de sal añadida a la disolución.</p> <p>44. Principio o final de semana; principio o final de mes; invierno o verano.</p> <p>45. Grosor de la lana; grosor de las agujas y tipo de punto.</p> <p>46. Número de dientes del plinón; posición del cuerpo (inclinado o acodado vertical); rostrales (con o sin).</p> <p>47. Con o sin visión; la posición (de pie o con una rodilla en tierra); tiempo de disparar (3 o 5 seg.).</p> <p>48. Tipo de balín (copa o vaso); mano de disparar (derecho o izquierdo); distancia al blanco (4 u 8 metros).</p> <p>49. Sexo; Ciencias o Letras; años de carrera o últimos.</p> <p>50. Pescador, lugar, perfido del día.</p> <p>51. Tipo de coche, vía por la que circula, pista con pebete, o no; persona que maneja el coche.</p> <p>52. Mano utilizada, persona diestra o zurda, tipo de cronómetro.</p> <p>53. Tipo, establecimiento, marca, fin al que está destinado (alimentación o no).</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Velocidad de una reacción química. - Tiempo de secado de un barniz de acción rápida. - Evaporación de soluciones acuosas. - Ventas en una carnicería. - Tiempo de tejido (tricotar). - Tiempo en recorrer una distancia en bicicleta. - Precisión al disparar. - Tiro con carabina. - Expectativas de trabajo de los estudiantes. - Número de peces capturados. - Tiempo que tarda un coche en jugar de Scalextric en dar 10 vueltas a una pista. - Influencia al detener el cronómetro en el 00:0. - Influencia en el precio de electrodomésticos.

FACTORES	RESPUESTAS	FACTORES	RESPUESTAS
<p>54. Día festivo, emisión matutina o vespertina, onda media o F.M.</p> <p>55. Alimentación del aparato (batería o no), posición (normal u horizontal), conexión o no de la red incorporada al aparato.</p> <p>56. Diámetro exterior de la tubería, diámetro interior, espesor del aislante, tipo de convección exterior (libre o forzada).</p> <p>57. Formas de hacer el bucle, multiplicar o elevar, utilizar paréntesis o no.</p> <p>58. Subida o bajada, lleno o vacío bujar al sexto piso o bajar al séptimo.</p> <p>59. Conocimiento de programación, tipo de carrera estudiada (Económica o Ingeniería), influencia de la digestión, con o sin música.</p> <p>60. Viento en contra o a favor, distintos tamaños con igual peso, rugosidad en el plano.</p> <p>61. Composición (algodón o poliéster), geometría (hilos paralelos o trenzados) en torno (hilos en agua o en aceite).</p> <p>62. Realizar el salto con la derecha o con las dos piernas, tomar o no carrerilla, utilizar calzado normal o deportivo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Número de anuncios radiofónicos en 15 minutos. - Tiempo de rebobinado de una cinta de cassette. - Pérdida de calor en la conducción de fluidos por tubería. - Velocidad de ejecución de un programa BASIC. - Velocidad de un ascensor. - Tiempo en acertar un número aleatorio. - Tiempo que tarda una esfera en recorrer un plano inclinado. - Ensayos de tracción sobre hilos de algodón y políester. - Altura alcanzada con la punta de los dedos de una mano, en una pared al saltar. 	<p>63. Hora del día, tipo de calzado, cantidad de peso.</p> <p>64. Estar sentado o de pie, situación de la papitera (en el suelo o encima de una mesa), situación de la papitera respecto a la hora del día (alejada o cerca), estado de la papitera (medio llena o vacía).</p> <p>65. Hora, día y posición.</p> <p>66. Presencia de sal o no, presencia o ausencia de lejía, presencia o ausencia de agua fuerte.</p> <p>67. Presencia de azúcar o no, sabor del chicle, persona que masca el chicle.</p> <p>68. Cansancio, entonación, lectura acompañada de la vista.</p> <p>69. Localización en clase (adelante o atrás), tomar apuntes con un solo color o con varios, usar o no gafas.</p> <p>70. El carburador, el peso del conductor, el aceite del Carter.</p> <p>71. Tiempo de secado, edad, actitud, densidad, pH, lignina, kappa, rendimiento bruto.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Tiempo que se tarda andando desde Francisco Silveira hasta la Escuela T.S.I.I. - Número de papeles encastados en una papitera. - Tráfico en una calle. - Resistencia eléctrica al agua. - Tiempo de duración del sabor de un chicle. - Capacidad retentiva de series numéricas. - Rendimiento académico. - Consumo de gasolina de una moto. - Rendimiento de la madera para la obtención de pasta de papel.