

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
Departamento de Cultivos y Suelos Tropicales

// SOBRE EL DISEÑO DE UN SISTEMA PARA MANEJAR

DATOS EXPERIMENTALES

A. Wayne Wymore ✓

Turrialba, Costa Rica

1975

SOBRE EL DISEÑO DE UN SISTEMA PARA MANEJAR DATOS EXPERIMENTALES

A. Wayne Wymore*

1. Introducción

Antes de junio de 1973, el programa de investigación del Departamento de Cultivos y Suelos Tropicales del CATIE se organizaba según las disciplinas clásicas de agricultura. Había proyectos de investigación de los productos de interés por el trópico: cacao, frijol, maíz, etc., y en fitopatología, fertilidad de suelos, etc., todos eran distintos, casi independientes. En junio de 1973 sin embargo, el Departamento reformuló sus programas de investigación, poniendo énfasis en la búsqueda de soluciones a los problemas de baja producción que conciernen a los pequeños agricultores de Centro América y del Caribe" /1 página 1/**. Esta reformulación implicó que, "para realizar este tipo de investigación se adoptó un sistema interdisciplinario de trabajo, dedicando los esfuerzos de diversos especialistas, en forma de equipo, a los objetivos comunes" / 1 página 4 /. La experimentación en el campo se reorganizó en un experimento central grande con pequeños experimentos como satélites, generados principalmente por estudiantes para averiguar aspectos especiales. Todos los miembros del personal técnico del equipo interdisciplinario, tomando datos del experimento central.

Tal reorganización ha efectuado cambios, un poco sutiles pero muy importantes, en los papeles y responsabilidades de los investigadores, especialmente con respecto a datos experimentales. En los días cuando un investigador individual, trabajando esencialmente sólo en un proyecto enfocado muy estrechamente, hablando en sus escritos a una audiencia que consistió casi completamente de gente semejante y altamente educada, el tratamiento de datos pudo ser muy informal. Los archivos del investigador individual usualmente fueron suficientes. Se pudo dar mucho por supuesto: el diseño del experimento casi completamente, las pruebas estadísticas, las metodologías de medición y observación, el criterio que se usa para evaluar resultados, etc. El principio del Método Científico de repetibilidad (sic) no demandó mucho de los archivos de datos de tales investigadores.

Es otro caso, sin embargo, cuando un grupo de científicos deciden trabajar juntos en un problema común. Entonces, ellos inmediatamente llegan a depender uno del otro. En este caso, nadie tiene todos los datos que él necesita. Cada uno del equipo tiene que contar con los otros

* Ph. D., Científico Residente, CATIE

** Número en paréntesis cuadrados se refieren a la bibliografía en la sección 9.

miembros para proveer datos. También hay un cambio sutil en la meta general de la investigación. En el caso anterior, la meta principal de la investigación pareció ser la producción de conocimientos puros, la meta y motivo de ciencia. Después del compromiso al equipo interdisciplinario, la meta de la investigación llega a solucionar problemas más prácticos y, por eso, más difíciles. Solucionar problemas prácticos es la meta y el motivo de ingeniería. Por lo tanto, 'los científicos devienen ingenieros en un dos por tres', la audiencia y los consumidores de los resultados de la investigación también son diferentes que antes. Ahora la audiencia consiste de gente con intereses más amplios, más prácticos. Tales personas no son especialistas científicos y se puede dar muy poco por supuesto. El principio del Método Científico de Repitabilidad, en este caso, demanda más de los datos y los archivos. Lo que constituye repitabilidad para un especialista científico, no constituye así para una persona con intereses más amplios. Los datos tienen que incluir todo lo que sea necesario para repetir el experimento en todos los aspectos con las excepciones del tiempo, clima, etc., y otros aspectos incontrolables. Finalmente, la última responsabilidad para el programa de investigación cambia del investigador individual al equipo mismo interdisciplinario o al Departamento el cual es una organización más permanente que el equipo. Es inevitable que el personal del equipo cambie.

Todo esto implica un enfoque más formal y más riguroso al tratamiento de datos experimentales. Los archivos informales de los investigadores individuales no son suficientes. En este caso, tenemos que diseñar un sistema para manejar los datos experimentales, un sistema que pertenece al Departamento y al cual todos los miembros del equipo interdisciplinario tienen que contribuir.

Para cumplir el diseño de tal sistema, vamos a usar la misma metodología que se usa en [5]. Esta metodología se explica brevemente en [2] y [3], y completamente en [4]. El objetivo principal de la metodología es proveer una estructura lógica para enunciar el problema del diseño de un sistema como completa y precisamente como sea posible dentro de los recursos de tiempo, energía, dinero, etc., disponible a los ingenieros de sistemas y a sus clientes. No soy equipo interdisciplinario y mis recursos de tiempo y energía están severamente limitados. Por lo tanto, se tiene que aceptar este documento como preliminar, un guía para consideraciones adicionales en las cuales todo el personal técnico debe participar.

La metodología que vamos a usar para enunciar nuestro problema del diseño de un sistema para manejar datos experimentales, requiere que nosotros cumplamos 7 objetivos:

1. Dar un nombre al problema, llamemos el problema SMODE (Sistema para el Manejo de Datos Experimentales). Nos referiremos como SMODE, también, al sistema que nosotros tratamos de diseñar.

2. Definir una especificación de entrada/salida; es decir, identificar todas las entradas con cuales el sistema SMODE debe tratar, en nuestras opiniones, e identificar todas las salidas que el sistema debe producir.

3. Circunscribir la tecnología que esté disponible a nosotros para fabricar o desarrollar el sistema.

4. Definir un algoritmo por medio del cual podamos decidir cuál de los dos sistemas propuestos se prefiere, con respecto a las habilidades de los sistemas de manejar las entradas para producir las salidas.

5. Definir un algoritmo por medio del cual podamos decidir cual de los dos sistemas propuestos se prefiere con respecto al uso de recursos para desarrollar y operar los sistemas.

6. Definir un algoritmo por medio del cual podamos decidir cual de los dos sistemas propuestos se prefiere con respecto a la intercombinación recíproca entre las habilidades de manejar las entradas para producir las salidas y el uso de recursos.

7. Desarrollar un plan por medio del cual podamos probar el sistema final real que vayamos a adoptar para nosotros mismos.

Las próximas 6 secciones de este documento se dedican a la realización de los objetivos (2-7).

2. La especificación de entrada/salida

Vamos a discutir en esta sección las entradas y salidas de SMODE. El sistema SMODE será un sistema de la clase de sistemas que se llama sistemas para retraer información. Otros ejemplos de tales sistemas son bibliotecas (más grande que SMODE) y el departamento de contabilidad de una empresa. Para tales sistemas, hay dos clases de entradas: Documentos y Preguntas. El sistema SMODE recibirá entradas de ambas clases: del conjunto Documentos que representan la información que el sistema SMODE debe almacenar y manipular, y del conjunto Preguntas que representen las cosas que la gente, que usan el sistema, quieran saber basados en la información que contenga el sistema. Las salidas del sistema SMODE deben de ser las respuestas a las preguntas que se introdujeron como entradas. Matemáticamente, Documentos puede ser algún conjunto. Presumiblemente, el sistema SMODE contendrá, a cada momento de tiempo, algún subconjunto de todos los documentos posibles. Preguntas es un conjunto de funciones tales que la región de definición de cada función es el conjunto de los subconjuntos del conjunto Documentos. Por eso, una salida del sistema SMODE es el valor de la función que se introdujo al sistema como una pregunta, basado en el subconjunto de documentos que tenía el sistema cuando recibió la pregunta.

2.1. Entradas de SMODE

En el caso del sistema SMODE específicamente, el conjunto Documentos es el conjunto de toda la información posible sobre los experimentos del Departamento de Cultivos y Suelos Tropicales del CATIE después del año 1973. Quiero decir "toda" en el sentido siguiente: por

ejemplo, en principio, podemos medir biomasa en algún momento de tiempo, es decir, las plantas han producido una cantidad medible de biomasa a cada momento de tiempo. De todas estas medidas posibles, recogemos una muestra relativamente pequeña, no sólo en tiempo sino también en especie. Es lo mismo con los otros aspectos del experimento: de toda la información posible colectamos solamente una pequeña parte. Pero en principio, nuestro sistema SMODE debe poder aceptar alguna información. Eso es porque definimos así el conjunto de Documentos para el sistema SMODE.

Debemos considerar que las entradas del sistema SMODE se engendran en el campo y en el laboratorio. Al instante de que se inscribe una observación o una medición, en el campo o en el laboratorio, en ese instante, la observación o medición llega a ser una entrada al sistema SMODE y el sistema SMODE es responsable para la observación a la medición. El sistema SMODE tiene que tratar con los datos crudos, no solamente con datos ya procesados y refinados.

Como entradas al sistema SMODE, los documentos son de 3 tipos primeramente: 1) Material descriptivo del experimento y de su establecimiento, diseño y análisis planteado; 2) Memorandos de las acciones administrativas; 3) Datos mismos. En este contexto, cada dato, observación medición o cuenta, con sus factores para identificación: la fecha, ubicación en espacios, observador, referencia a la metodología para la observación, la ubicación de la observación con respecto al diseño del experimento, tratamiento, subtratamiento, etc., y la lectura misma, es un documento.

El conjunto Preguntas, como una clase de entradas del sistema SMODE, debe incluir todas las preguntas que los que usarán el sistema SMODE, podrían hacer sobre los datos o los experimentos mismos. Los que usarán el sistema SMODE serán el personal técnico del Departamento, sus estudiantes y posiblemente científicos o oficiales de otros lugares y tiempos en el futuro.

Como entradas al sistema SMODE, las preguntas son básicamente de 3 tipos: 1) preguntas sobre el establecimiento y el manejo de los experimentos, 2) preguntas sobre las observaciones y los métodos de coleccionar las, 3) preguntas pidiendo análisis de los datos.

Por ejemplo, una persona que quisiera repetir un experimento, preguntaría:

2.1.1. Tan exacto como posible, Dónde ubicaba el experimento?
Se deslindó por instrumentos el experimento?.

2.1.2. Cuáles cultivos se sembraron, por clase y variedad?
Donde se obtuvieron las semillas?.

2.1.3. Cuáles fueron las densidades de siembra?

2.1.4. Cuáles fueron las distancias de siembra?

2.1.5. Cuáles fueron las fechas de siembra?

2.1.6. Cuáles fueron las fechas de cosecha?

2.1.7. Cuál maquinaria se usó?

2.1.8. Cuáles fertilizantes se usaron?

2.1.9. Cuáles insecticidas se aplicaron?

2.1.10. Cuáles herbicidas se aplicaron?

Se querría toda la información necesaria para establecer el mismo experimento en el campo en la misma ubicación, casi semilla por semilla. Luego, querría hacer más preguntas.

2.1.11. Cuáles variables se midieron o se observaron?

2.1.12. Para cada medición u observación, quién hizo la medición u observación? Cuándo?. Donde? y Cómo? Se querría toda la información necesaria para volver a crear los mismos datos del experimento original. Se querría todos los detalles de los instrumentos usados incluyendo los números de serie y modelos y de las técnicas para usarlos para medir u observar. La pregunta dónde?, requiere que se responda no solamente en términos de coordinación de espacio pero también en términos de diseño del experimento (parcela, subparcela, tratamientos, subtratamiento etc.)

El esfuerzo del principio de Repitabilidad en casi todos los casos, es que, aunque no se quisiera repetir el experimento, si se supiera que se puede repetir, se tendría más confianza en los datos.

Entonces, se querría hacer preguntas sobre el análisis de los datos. Por ejemplo:

2.1.13. Qué es la ecuación de regresión entre los variables X_1, \dots, X_n .Cuál es el coeficiente de regresión?,Cuál es el intervalo de confianza?

2.1.14. Cuál es el análisis de varianza entre las variables X_1, \dots, X_n . Cuáles efectos son significativos al nivel de 95%?

De este tipo, hay preguntas más complicadas:

2.1.15. Con estos valores de ponderaciones, de importancia $W(1), \dots, W(34)$, y estos valores dependientes $p(1), \dots, p(34)$, y estos valores de referencia $r(1), \dots, r(34)$, Cuáles son los valores de la intercombinación recíproca, como definida en [5], para todos los sistemas representados en el experimento?

Yo quisiera manipular las ponderaciones y las pendientes y los valores de referencia para explorar los efectos de valores diferentes de estas variables en la evaluación de los sistemas de producción.

A pesar del hecho de que las preguntas son básicamente de 3 tipos, y a pesar de que hemos enumerado unas preguntas específicas, recuerden

ustedes alguna función, que se puede definir sobre los subconjuntos del conjunto de toda la información posible sobre el experimento, es admisible como una entrada al sistema SMODE.

Es posible que necesitemos estimar unas probabilidades que conciernen las frecuencias en las cuales las varias preguntas parecerán como entradas al sistema SMODE.

3. La Tecnología de SMODE

La tecnología que se disponga para desarrollar el sistema SMODE es muy grande, casi sin límites. Ella consiste de todas las computadoras de todos los tipos que existan, todas las otras máquinas para procesar y almacenar información y todas las habilidades humanas que se dispongan. En este problema SMODE, la tecnología no será un problema con excepción de que parecen ser prejuicios de los miembros del Departamento durante discusiones más extensivas.

En la tecnología son las facilidades para computación del IICA. Ellas me parecen muy atractivas por que no están ocupadas completamente, están disponibles fácilmente, tienen personal muy competente y sus servicios son relativamente baratos al Departamento de Cultivos y Suelos Tropicales.

4. El orden de mérito de Entrada/Salida

Para el problema SMODE, se basa usualmente el orden de mérito de entrada/salida en los criterios siguientes:

4.1. La duración de tiempo esperada, desde el tiempo que el sistema SMODE recibe una pregunta, hasta el tiempo cuando el sistema responda a la pregunta, en semanas.

4.2. La duración esperada de tiempo desde el tiempo que el sistema SMODE recibe un documento, hasta el tiempo cuando el puede usar el documento para responder a una pregunta, en meses.

4.3. La precisión esperada de la respuesta del sistema SMODE a una pregunta de análisis; es decir, si D representa el conjunto de todos los datos presentados al sistema SMODE como entradas hasta el tiempo t , y si p es una pregunta que se presenta como entrada al tiempo t , el sistema SMODE debe responder a algún tiempo después del tiempo t con el valor $p(D)$; pero, supongamos que el sistema SMODE responda con el valor q . El valor $\frac{|p(D) - q|}{|p(D)|}$ es la precisión de la respuesta q .

4.4. La probabilidad de que un documento o un dato o un conjunto de datos, se le pierda al sistema SMODE. Un documento d se perdió por el sistema SMODE, si, y solamente si, el sistema SMODE no responde dentro de una semana con la presentación del documento d , a la pregunta, Puede darme el documento d ?

Hay otros criterios que podríamos usar para evaluar sistemas del tipo de SMODE. Unos de esos son más adelantados y complicados y, por eso, más difícil para entender. Por ahora, contentémonos con esos cuatro criterios.

Denotemos por SMODEA un sistema de referencia del Departamento de Cultivos y Suelos para el manejo de datos experimentales. Supongamos que el sistema SMODEA tenga los valores siguientes para los cuatro criterios (usando el mismo simbolismo que se usa en [5]):

$$\begin{aligned} r(4.1) &= X(\text{SMODEA}, 4.1) = 3 \text{ semanas} \\ r(4.2) &= X(\text{SMODEA}, 4.2) = 2 \text{ meses} \\ r(4.3) &= X(\text{SMODEA}, 4.3) = 0,15 \\ r(4.4) &= X(\text{SMODEA}, 4.4) = 0,6 \end{aligned}$$

Estos valores no son estimaciones, sino suposiciones. También, con la excepción del último, estos valores no son malos necesariamente.

Basado en estos valores referentes, yo asignaría los valores a las pendientes y a las ponderaciones [3,5] como sigue:

$$\begin{array}{ll} p(4.1) = -0,18 & W(4.1) = 0,25 \\ p(4.2) = -0,26 & W(4.2) = 0,17 \\ p(4.3) = -3,57 & W(4.3) = 0,08 \\ p(4.4) = -0,85 & W(4.4) = 0,5 \end{array}$$

Los signos negativos con los valores de las pendientes significan que, para cada criterio, "menor es mejor".

Quiero enfatizar que los valores dados para las pendientes y ponderaciones son míos propios reflejando mis juicios y prejuicios. Últimamente, los criterios mismos, los valores referentes, las pendientes y las ponderaciones, deben ser discutidos por el personal técnico del Departamento para llegar a una situación mutuamente satisfactoria.

4.5. En este momento, sin embargo, si tuvieramos dos sistemas propuestos Z_1 y Z_2 , para comparar con respecto a sus comportamientos de entrada/salida, computaríamos o estimaríamos las cantidades $X(i, i)$ para $i = 1, 2, i = 4.1, 4.2, 4.3, 4.4$ y luego las cantidades $X(i, 4.5) = d(1, 4.1, 4.4)^*$. Entonces, diríamos que se prefiere el sistema Z_2 al sistema Z_1 si y solamente si, $X(1, 4.5) < X(2, 4.5)$.

Vea / 5 / para la definición de la función d.

Se observa que el índice de beneficio general, $X(i, 4.5)$, es siempre mayor de, o igual a cero, y menor de, o igual a uno, y que $X(SMODEA, 4.5) = 0,5$.

5. El orden de mérito de tecnología

Para los sistemas propuestos para el manejo de datos, se juzgan los usos de recursos según los criterios siguientes:

5.1. La cantidad esperada de inversión capital requerida en \$.

5.2. La duración esperada de tiempo requerido para desarrollar el sistema en meses.

5.3. Los costos esperados del desarrollo del sistema en \$.

5.4. Los costos esperados para operar el sistemas en \$/mes.

5.5. El índice de conveniencia del uso del sistema, $0 \leq X(i, 5.5) \leq 1$.

5.6. El costo total: El costo de la inversión capital por mes bajo la suposición que se recoge en diez años a la razón de interés de 12%* + el costo del desarrollo del sistema por mes bajo la suposición también que se recoge en diez años a la razón de interés de 12% + el costo para operar el sistema ($X(i, 5.4)$, en \$/mes; en símbolos tenemos:

$$X(i, 5.6) = \frac{(0,01)(1,01)^{120}}{(1,01)^{120} - 1} (X(i, 5.1) + X(i, 5.3)) + X(i, 5.4)$$

5.7. El costo por documento $X(i, 5.6) \div$ el número esperado de documentos (medidos en caracteres) almacenados por el sistema, en \$/carácter.

5.8. El costo por pregunta: $X(i, 5.6) \div$ el número esperado de preguntas recibidas por mes, en \$/pregunta.

Otra vez, hay muchos otros criterios que podríamos usar para evaluar sistemas del tipo de SMODE, pero esos mencionados aquí son los más importantes.

* Recuerden ustedes que todos los números específicos que yo uso son sujetos a la negociación por los miembros del Departamento

Supongamos que el sistema SMODEA tiene los valores siguientes para los ocho criterios definidos anteriormente:

$r(5.1) = X(\text{SMODEA}, 5.1) = \500
 $r(5.2) = X(\text{SMODEA}, 5.2) = 1 \text{ mes}$
 $r(5.3) = X(\text{SMODEA}, 5.3) = \1000
 $r(5.4) = X(\text{SMODEA}, 5.4) = \$100/\text{mes}$
 $r(5.5) = X(\text{SMODEA}, 5.5) = 0.1$
 $r(5.6) = X(\text{SMODEA}, 5.6) = \121.28
 $r(5.7) = X(\text{SMODEA}, 5.7) = \$2.7253932 \times 10^{-5} / \text{car}$
 $r(5.8) = X(\text{SMODEA}, 5.8) = \$3.634 / \text{pregunta}$

Las computaciones involucradas en la deducción de los valores $r(5.7)$ y $r(5.8)$ referentes se basaron en las suposiciones siguientes:

5.9. Habrá promedio de 500 páginas de documentos de tipo (1), material descriptivo, cada año, y cada página contiene 1250 caracteres; o habrá 625.000 caracteres producidos para documentos del tipo (1), cada año.

5.10. Habrá promedio de un documento de tipo (2), acciones administrativas, producido cada semana del año, de 2 páginas; o habrá aproximadamente 125.000 caracteres producidos por año para documentos del tipo (2).

5.11. Habrá promedio de 20.000 datos individuales por año, cada uno de los cuales requerirá 5 caracteres y cada 50 datos, por promedio, requerirá 100 caracteres de identificación, o habrá 140.000 caracteres producidos por año para documentos del tipo (3).

5.12. Habrá, por eso, promedio de 890.000 caracteres de información por año. Al final de diez años, habrá 8.900.000 caracteres de información. Por lo tanto, la máxima capacidad de almacenaje requerido, si nosotros almacenáramos esos caracteres mecanografiados, 1250 caracteres la página sería para 7120 páginas, menos que la capacidad de un archivero. Aun que yo haya estimado demasiado bajo por una orden de diez, el problema de almacenaje físicos no es serio.

Por lo tanto el promedio de número de caracteres almacenados es 4.450.000. Por eso, para computar $X(i, 5.7)$, se divide $X(i, 5.6)$ por 4.45×10^6 .

5.13. Habrá promedio de 400 preguntas al año presentadas como entradas al sistema SMODE. Habrá una proposición igual de preguntas de cada tipo. Por eso, para computar $X(i, 5.8)$, se divide $X(i, 5.6)$ por 33.33333

5.14. Los otros valores referentes para los criterios 5.1 - 5.6 no son estimaciones, sino suposiciones otra vez. También, otra vez, los valores referentes no son malos necesariamente, de veras, los costos son muy bajos.

Basado en estos valores referentes, yo asignaría los valores a las pendientes y a las ponderaciones, como sigue:

$p(5.1) = -0,00011$	$W(5.1) = 0,136$
$p(5.2) = -0,1$	$W(5.2) = 0,12$
$p(5.3) = -0,00005$	$W(5.3) = 0,12$
$p(5.4) = -0,0005$	$W(5.4) = 0,102$
$p(5.5) = -0,000000$	$W(5.5) = 0,2$
$p(5.6) = -0,0005$	$W(5.6) = 0,169$
$p(5.7) = -0,164907 \times 10^5$	$W(5.7) = 0,068$
$p(5.8) = -1,649076$	$W(5.8) = 0,095$

Permitanme ustedes volver a enfatizar que los valores dados para los pendientes y ponderaciones son míos propios reflejando mis juicios y prejuicios, nada más.

5.15. Bajo estas suposiciones, si tuvieramos dos sistemas propuestos Z_1 y Z_2 para comparar con respecto a sus usos de los recursos, computaríamos o estimaríamos las cantidades $X(i, i)$ para $i = 1, 2$ y $i = 5.1, \dots, 5.8$ y luego, las cantidades $x(i, 1.15) = d(2, 5.1, 5.8)$ para $i = 1, 2$. Entonces, diríamos que se prefiere el sistema Z al sistema Z_2 Si, y solamente si, $X(1, 5.15) < X(2, 5.15)$.

Se observa que el índice general del uso de recursos, $X(i, 5.15)$, es siempre mayor o igual a cero y menor o igual a uno, y que $X(\text{SMODEA}, 5.15) = 0,5$

6. El orden de mérito de factibilidad

El paso próximo según la metodología es definir un orden de mérito que sea una intercombinación recíproca entre los órdenes de mérito de entrada/salida y de tecnología, respectivamente. Cumplimos este paso definiendo el índice de factibilidad: $X(i, 6) = X(i, 4.5) \times (i, 5.15)$.

Esta expresión representa la razón entre beneficios y costos si pensamos que $X(i, 4.5)$ representa beneficios generalizados y $X(i, 5.15)$ representa la recíproca de costos generalizados.

Si quisieramos comparar dos sistemas Z_1 y Z_2 con respecto a la intercombinación recíproca entre comportamiento de entrada/salida, o como lo hemos llamado, "beneficios", y el uso de los recursos, o como lo hemos llamado "costos", computaríamos $X(1, 6)$ y $X(2, 6)$ por medio de la fórmula definida anteriormente, y diríamos que se prefiere Z_2 a Z_1 , si y solamente si, $X(1, 6) < X(2, 6)$. Este es el último criterio y el más importante para comparar y evaluar sistemas.

Se observa que el índice de la razón de beneficios y costos, $X(i, 6)$ es siempre mayor de o igual a cero y menor de o igual a 1 y que $X(\text{SMODEA}, 6) = 0,25$. Algún sistema i tal que $X(i, 6) > 0,25$ es, por definición, mejor que el sistema SMODEA .

7. El plan para probar el sistema

El plan para probar el sistema que se instale últimamente, y que hemos llamado [4.5] el sistema real final, enfoca en tres preguntas: (1) Cómo se miden para el sistema real final, los valores de los criterios definidos en secciones 4 - 5?. (2) Tenemos un modelo Z^o adecuado del sistema real final?. (3) Es el sistema real final aceptable al Departamento?

7.1. El sistema real final tiene que incorporar sistemas componentes para registrar gastos y el flujo de documentos, preguntas, y respuestas del sistema. Al fin de un año de operación, un jurado debe ser nombrado. El jurado debe incluir un auditor público. Los registros de contabilidad serán intervenidos por el auditor público. Si, en su opinión, los registros no fueran adecuados y satisfactorios, el sistema real final no sería aceptable. Esos sistemas componentes del sistema real final tiene que proveer la información requerida como sigue:

7.1.4.1. Para cada pregunta recibida durante el año, el sistema real final tiene que proveer la duración de tiempo antes que el sistema haya producido la respuesta, y el promedio de estas duraciones.

7.1.4.2. Para cada documento recibido durante el año, el sistema real final tiene que proveer la duración de tiempo antes que el sistema haya usado el documento para una respuesta a una pregunta, y el promedio de estas duraciones.

7.1.4.3. El jurado generará al azar, a lo menos, tres preguntas de tipo (1) pidiendo información sobre el establecimiento y el manejo del experimento, 25 preguntas de tipo (2) pidiendo datos específicos, y 3 preguntas de tipo (3), incluyendo un análisis de varianza, y un análisis de regresión. El jurado adquirirá independientemente respuestas a las tres preguntas pidiendo análisis de los datos. La precisión de la respuesta del sistema es el promedio de las precisiones de todos los valores computados para las respuestas a las preguntas generadas.

7.1.4.4. La probabilidad de que un documento sea perdido por el sistema real final es la proporción de los documentos no proveídos entre las respuestas a las 28 (o más) preguntas pidiendo documentos específicos después de una semana.

Los sistemas componentes de contabilidad tienen que proveer también registros de:

7.1.5.1. La cantidad de inversión capital usada

7.1.5.2. La duración de tiempo pasado para el desarrollo del sistema.

7.1.5.3. Los costos del desarrollo del sistema

7.1.5.4. Los costos para operar el sistema

7.1.5.5. Para computar el valor del criterio 5.5, el índice de conveniencia, el jurado conducirá una encuesta entre el personal técnico y los estudiantes del Departamento. Cada uno de los estudiantes dará un voto

y cada miembro del personal técnico dará 2 votos en la forma de un número entre 0 y 10, reflejando la opinión del votante sobre la conveniencia de uso del sistema real final. El promedio de todos los votos dados, dividido por diez, es el valor del sistema real final para el criterio 5.5.

Los sistemas componentes de contabilidad tiene que proveer también registros de:

- 7.1.5.6. El costo total como definido en Sección 5.6;
- 7.1.5.7. El costo por documento como definido en Sección 5.7;
- 7.1.5.8. El costo por pregunta como definido en Sección 5.8.

Basado en los números deducidos como descritos anteriormente para el sistema real final, Z^{real} , se computan los índices de beneficios generales, $X(Z^{\text{real}}, 4.5)$, y de costos generales, $X(Z^{\text{real}}, 5.15)$ y de la razón de beneficios y costos: $X(Z^{\text{real}}, 6) = X(Z^{\text{real}}, 4.5) X(Z^{\text{real}}, 5.15)$.

La discusión en esta Sección 7.1 es la respuesta a la pregunta (1) hecha en Sección 7: Cómo se miden para el sistema real final los valores de los criterios definidos en Secciones 4, 5 y 6?

7.2. Antes del desarrollo del sistema real, final los ingenieros de sistemas habrán producido estimaciones o predicciones de los valores de los criterios definidos en secciones 4 y 5. Con la excepción única del criterio 5.5, el índice de conveniencia, para los otros criterios, "menor es mejor". En estos casos, queremos estar seguros que no hayamos estimado mal un resultado en el sistema real final que sea peor que la predicción. Denotemos por "predicción" el valor predicho y por "medición" el valor medido para el sistema real final como descrito arriba. Luego insistiremos que:

$$\frac{\text{"medición"} - \text{"predicción"}}{\text{"medición"}} < 0.1$$

para todos los criterios con la excepción del criterio 5.5, el índice de conveniencia. Para este criterio, insistiremos que:

$$\frac{\text{"predicción"} - \text{"medición"}}{\text{"medición"}} < 0.1$$

Si estas condiciones fueran satisfactorias para todas las predicciones, diríamos que la respuesta a la pregunta 2 en sección 7, a saber, Tenemos un modelo adecuado del sistema real final?, es sí.

7.3. El sistema real final es aceptable sí y solamente sí la respuesta a la pregunta (2) hecha en sección 7.2 es sí, y el índice de intercombinación recíproca como computado en sección 7.1 para el sistema real final, es mayor de 0,3 y el auditor publica que los sistemas componentes de contabilidad son adecuados.

7.4. Esta discusión del plan para probar el sistema real final del problema SMODE es solamente un ejemplo, un punto del cual podemos

empezar a discutir los problemas del diseño del sistema SMODE. De veras, esta misma observación aplica a toda la discusión en este documento del problema SMODE. En estas páginas, sin embargo, tenemos un enunciado del problema del diseño de un sistema para el manejo de datos experimentales, más completo, más comprensivo, más preciso que jamás. De tal principio, podemos modificar el enunciado del problema con confianza y sin confusión.

8. Un diseño propuesto

En el caso del diseño de sistemas para el manejo de información, como así es el sistema SMODE, es muy importante que se anuncie el problema completo y precisamente como sea posible, porque hay mucha gente en el mundo hoy, quizás bien intencionada, quien quiere persuadirnos de que nosotros debemos saltar en el desarrollo de un sistema de computadora, muy moderno y avanzado. Esta acción puede ser una equivocación muy costosa. Tal sistema puede consumir fácilmente todos los recursos del Departamento y últimamente devolver poco. Y muchas veces, en mi experiencia, los problemas más serios en el manejo de datos experimentales no estuvieron en la computación o manipulación de los datos sino, más arriba en el proceso, donde se recogen y se almacenan físicamente los datos crudos. No quiero decir a este punto, sin embargo, que un sistema de computadora muy avanzado no se puede justificar. Yo digo solamente que se debe justificar tal sistema con gran cuidado.

Tratando de tener en cuenta todas estas cosas, voy a proponer el desarrollo de un sistema que quiero llamar SMODEB.

8.1. Nombrar un miembro del personal técnico como el Jefe de datos experimentales y asignar a él una secretaria. Las asignaciones a SMODEB de estas personas no deben consumir más de la mitad del tiempo de ellos.

8.2. Proveer a SMODEB 2 archivadores con llaves y espacio para instalarlos.

8.3. Ser diseñado una forma (o formas si es necesario) norma general por el personal técnico del Departamento con la ayuda del Ing. Quiroga y su personal, por medio del cual se pueden recoger y inscribir en el campo en los laboratorios y someter al SMODEB todos los datos.

8.4. Establecer los sistemas componentes de contabilidad de gastos (vean ustedes los criterios 5.1 -5.8 excluyendo 5.5) y los registros de los documentos, preguntas y respuestas.

8.5. Ser escrita por el personal técnico del Departamento una versión oficial del establecimiento físico de los experimentos en el campo y del diseño estadístico del experimento y los análisis planteados. Recuerden ustedes el principio de Repitabilidad.

8.6. Ser escrito por cada miembro del personal técnico del Departamento, una descripción de los variables que quiere observar y la metodología que él aguarda usar para las observaciones a las mediciones. Si tal metodología es bien conocida y la descripción existe en la literatura, una referencia a dicha literatura debe ser suficiente. También en este escrito el miembro debe incluir los análisis que quisiera haber hecho y las preguntas que quisiera haber expuesto. Se debe someter este documento al SMODEB antes que SMODEB pueda aceptar algunas observaciones de dichas variables porque la forma para someter datos (que se diseñó en 8.3) requiriera una referencia a la metodología de observación sometida al SMODEB previamente.

8.7. Todos los datos, documentos, y otra información sobre los experimentos del Departamento se tienen que someter al SMODEB a través del Jefe de los Datos o su representante designado. Semejantes las preguntas para SMODEB y las respuestas para SMODEB se transmiten a través del Jefe de los Datos o su representante designado.

8.8. Al recibir de una pregunta del tipo (3), pidiendo un análisis de los datos, el Jefe de los Datos tiene que decidir si se hará el análisis por mano en el Departamento, por el Centro de Computación del IICA o por alguna otra instalación de computadora. El Jefe de los Datos debe consultar con el Ing. Quiroga sobre estas decisiones porque, en mi opinión, la instalación de él puede tratar fácilmente con casi todos los análisis requeridos por el Departamento.

8.9. Se debe someter al sistema SMODEB, minutas meticulosas de todas las reuniones del personal técnico del Departamento en las cuales se hicieran decisiones administrativas sobre los experimentos o el manejo de los datos experimentales.

8.10. Esta discusión, como un modelo de un sistema es muy cruda o primitiva. Yo espero, sin embargo, que se puede estimar, por medio de esta descripción, los valores de los criterios para el sistema SMODEB para evaluarlo.

8.10.4.1. Estimo que la duración de tiempo esperado, desde el tiempo que el sistema SMODEB recibe una pregunta hasta el tiempo antes que el sistema SMODEB responda, sea 1 semana; es decir, $X(\text{SMODEB}, 4.1) = 1 \text{ semana}$.

8.10.4.2. Estimo que la duración de tiempo esperado, desde el tiempo que el sistema SMODEB recibe un documento hasta el tiempo antes que se disponga el documento para responder a una pregunta, sea 2 días, es decir, $X(\text{SMODEB}, 4.2) = \frac{1}{11} \text{ mes}$.

8.10.4.3. Estimo que la precisión esperada de la respuesta del sistema SMODEB a una pregunta pidiendo análisis, sea 5×10^{-5} ; es decir $X(\text{SMODEB}, 4.3) = 5 \times 10^{-5}$.

8.10.4.4. Estimo que la probabilidad de que se le perdió al sistema SMODEB un documento sea 0,001; es decir, $X(\text{SMODEB}, 4.4) = 0.001$.

8.10.4.5. Luego eso, se computa el valor del índice general de beneficios para el sistema SMODEB como sigue: $X(\text{SMODEB}, 4.5) =$

$$= (0,5 - (0,18) (1-3)^* (0,25) \\ + (0,5 - (0,26)) \frac{1}{11} - 2)^* (0,17) \\ + (0,5 - (3,57) (5 \times 10^{-5} - 0,15)^* (0,08) \\ + (0,5 - (0,85) (0,001 - 0,6)^* (0,5) \\ = 0,215 + 0,1693818 + 0,08 + 0,5 \\ = 0,9643318$$

8.10.5.1. Estimo que la cantidad esperada de inversión capital requerida por el sistema SMODEB, sea \$1000, es decir $X(\text{SMODEB}, 5.1) = \1000 .

8.10.5.2. Estimo que la duración esperada de tiempo requerida para desarrollar el sistema sea 3 meses; es decir, $X(\text{SMODEB}, 5.2) = 3$ meses.

8.10.5.3. Estimo que el costo total del desarrollo del sistema SMODEB sea \$4500 incluyendo, principalmente, el tiempo del personal técnico del Departamento para cumplir pasos 8.3 (el diseño de una forma normal), 8.4 (el fortalecimiento de sistemas de contabilidad), 8.5 (descripción del establecimiento del experimento), y 8.6 (descripciones de los variables de los experimentos y cómo medirlos); es decir $X(\text{SMODEB}, 5.3) = \4500 .

8.10.5.4. Estimo que los costos esperados para operar el sistema SMODEB sea \$850 por mes; es decir, $X(\text{SMODEB}, 5.4) = \850 .

8.10.5.5. Estimo que el índice de conveniencia del sistema SMODEB sea 0,75, es decir, $X(\text{SMODEB}, 5.5) = 0,75$.

8.10.5.6. Por eso, el costo total sería:

$$0,014186 (1000 + 4500) + 850 \\ = 928.02; \text{ es decir, } X(\text{SMODEB}, 5.6) = \$928.02$$

8.10.5.7. El costo por documento del sistema SMODEB sería :
 $X(\text{SMODEB}, 5.7)$
 $= \underline{X(\text{SMODEB}, 5.6)}$

$$4,45 \times 10^6 \\ = \$2,0854382 \times 10^1 / \text{carácter}$$

* Recuérdense [4,5] ustedes que si el valor de esta expresión fuera más de 1 o menos de 0, pondríamos el valor de la expresión a 1 ó 0 respectivamente.

8.10.5.8. El costo por pregunta del sistema SMODEB sería:

$$\begin{aligned} & X (\text{SMODEB}, 5.8) \\ &= \frac{X (\text{SMODEB}, 5.6)}{33.33333} \\ &= \$27.8406/\text{pregunta} \end{aligned}$$

8.10.5.15. Luego, se computa el valor del índice de costos generales para el sistema SMODEB, como sigue: X (SMODEB, 5.15)

$$\begin{aligned} &= (0,5 - (0,000111) (1000-500))* (0,136) \\ &+ (0,5 - (0,1) (5-1) * (0120) \\ &+ (0,5 - (0,00005) (4500-1000))* (0,120) \\ &+ (0,5 - (0,0005) (850 - 100))* (0,102) \\ &+ (0,5 + (0,555556) (0,75 - 0,1))* (0,2) \\ &+ (0,5 - (0,0065) (928,02 - 121,28))* (0,169) \\ &+ (0,5 - (0,164907 \times 10^5) (20,854382 \times 10^{-5} - 2.7253932 \times 10^{-5}))* (0,068) \\ &+ (0,5 - (1,649076) (27.8406 - 3.6384))* (0,085) \\ &= 0,060452 + 0,036 + 0,039 + 0,01275 + 0,1722222 + 0 + 0 + 0 \\ &= 0.3204242 \end{aligned}$$

8.10.6. Por lo tanto, la intercombinación recíproca entre los órdenes de mérito de entrada/salida y de tecnología, se computa como sigue:

$$\begin{aligned} & X (\text{SMODEB}, 6) \\ &= X (\text{SMODEB}, 4.5) X (\text{SMODEB}, 5.15) \\ &= (0,9643818) (0,3204242) \\ &= 0,3090112 \end{aligned}$$

* Recuerden ustedes, otra vez [4,5], que si el valor de esta expresión fuera más de lo menos de 0, pondríamos el valor de la expresión a 1 ó 0, respectivamente.

8.11. Bajo la condición 7.3 (que $X(i, 6) > 0,3$) del plan para probar el sistema real final, el sistema SMODEB es escasamente aceptable, aunque sea un mejoramiento sobre el sistema de referencia, SMODEA. Por supuesto, todas estas computaciones son conjeturas porque ellas dependen por su validez con las estimaciones de los valores de los criterios para el sistema SMODEB y los valores de las pendientes y las ponderaciones. Los últimos son mños, no son del Departamento como ellos deben ser.

Pero, es un lugar del cual podemos comenzar a discutir y plantear,

9. Bibliografía

1. BAZAN, R. et al. Resultados preliminares de una investigación en Sistemas de producción de cultivos alimenticios realizada en el CATIE Turrialba, Costa Rica. Presentado en la XXI Reunión Anual del Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos Alimenticios. Abril 7, 1975. San Salvador, El Salvador.
2. WYMORE, A. W. A Sketch of the Basic Concepts of Systems Engineering. Departamento de Cultivos y Suelos Tropicales, CATIE, Turrialba, Costa Rica. 1975.
3. WYMORE, A. W. Un Bosquejo de los Conceptos Básicos de la Ingeniería de Sistemas. Departamento de Cultivos y Suelos Tropicales, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1975.
4. WYMORE, A. W. Systems Engineering Methodology of Interdisciplinary Teams, John Wiley, New York, 1975.
5. WYMORE, A. W. Sistemas para un Pequeño Agricultor, Departamento de Cultivos y Suelos Tropicales, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1975.