

Las variables y su control experimental; herramientas para los procesos experimentales en investigaciones ambientales

The variables and their experimental control, tools for experimental research on environmental processes

Fermín Hurtado Curbelo, Midiala Rodríguez Álvarez y Maxleni Fuentes Sánchez.

Universidad de Ciencias Pedagógicas “José Martí, Camagüey. Cuba.

E – mail: fhurtado@ucp.cm.rimed.cu

Recibido: 7 de marzo de 2014.

Aceptado: 3 de junio de 2014.

Resumen

Este estudio se propone sistematizar aspectos teórico-prácticos sobre la estructuración y realización del diseño experimental como herramienta estadística en las investigaciones ambientales. El trabajo constituye un acercamiento teórico a la aplicación de técnicas de diseño experimental donde se brindan algunos ejemplos y teorías estadísticas que podrán ayudar a comprender la aplicabilidad de estos métodos para las investigaciones ambientales.

Palabras clave: experimento, diseño experimental, teorías estadísticas.

Summary

This study aims to systematize theoretical and practical aspects of structuring and development of experimental design and statistical tool in environmental research. This work is a theoretical approach to the application of experimental design techniques. Some examples and statistical theories are provided in order to contribute to the understanding of applicability of such methods to environmental researches.

Keywords: experiment, experimental design, statistical theories.

Introducción

Las investigaciones sobre el medio ambiente se han dirigido, entre otros procesos: al estudio de la contaminación y la evaluación del impacto ambiental, así como el desarrollo de tecnologías para el tratamiento de residuales de diferentes tipos. En todos estos procesos investigativos se deben aplicar técnicas de la estadística muy vinculadas al diseño experimental, es por eso, que en este artículo se brindan algunos ejemplos que podrán ayudar a comprender la aplicabilidad de estos métodos para la validez y pertinencia de los problemas ambientales.

Las aplicaciones que se discutirán requieren la solución efectiva de problemas, que envuelven muchos factores, sumado a la no existencia de modelos teóricos y posibles interacciones de muchas variables.

Bajo los presupuestos anteriores el objetivo del trabajo se dirige a sistematizar aspectos teórico-prácticos sobre la estructuración y realización del diseño experimental como herramienta estadística en las investigaciones medioambientales.

Materiales y métodos

Para el desarrollo del trabajo se realizaron sistematizaciones teóricas de la bibliografía asociada a la temática, así como resultados de investigaciones de los autores, estas constituyeron fuentes para los ejemplos que ilustran cada uno de los aspectos abordados. Entre la literatura consultada para la investigación educativa se encuentran las obras de (Cohen y Manion, 1990; Van Dalen y Meyer, 1994), entre otras.

Resultados y Discusión

Se define el experimento como “aquella clase de experiencia científica en la cual se provoca deliberadamente algún cambio y se observa e interpreta su resultado, con alguna finalidad cognoscitiva” (Hurtado, 2012, p. 19).

El método experimental se caracteriza por el control de variables. Las variables “son propiedades, atributos o características de los objetos o sucesos de estudio. Se denominan de este modo porque se manifiestan en grados o modalidades diferentes. Ejemplos: edad, escolaridad, actitudes, ocupaciones, etc” (Briones, 2005, p. 15).

De manera general las variables que un investigador controla en el experimento son de tres tipos:

- Independiente: factor manipulado por el investigador como “causa”.
- Dependiente: factor sobre el cual ejerce su efecto la variable independiente
- Ajenas o extrañas: factores que pueden “contaminar” la relación causa–efecto que el investigador pretende establecer entre las variables independiente y dependiente.

Por ejemplo, si un investigador parte de la hipótesis siguiente: “El Método A es el más efectivo para el proceso de desarrollo de la educación ambiental en los alumnos”.

¿Cuál sería la variable independiente?

El Método A.

¿Cuál sería la variable dependiente?

El desarrollo de la educación ambiental en los alumnos.

¿Cuáles serían las posibles variables ajenas o extrañas?

- Condiciones del profesor (experiencia, actitudes, entre otras.)
- Condiciones de los alumnos (motivaciones, capacidades, entre otras.)
- Condiciones ambientales (horario, ruidos, entre otras.)

El propósito fundamental del investigador en un experimento es lograr que los cambios o variaciones en los valores de la variable dependiente sean atribuibles a la acción de la variable independiente y no a variables ajenas o extrañas.

En la figura 1 se representan de manera esquemática dos grupos: un grupo experimental (G.E) y un grupo de control (G.C.) Para una mejor comprensión de la lógica que se sigue con el fin de comprobar la hipótesis en un experimento determinado, se continuará en el análisis del ejemplo anterior:

El grupo experimental es aquel en el que se introduce la variable independiente (en el caso del ejemplo: el método A), mientras que el grupo control se mantiene en sus condiciones habituales (sigue utilizándose el método tradicional). Si al final del experimento se observan diferencias sustanciales entre los resultados de los grupos experimental y de control, entonces se confirma la hipótesis del investigador (en el ejemplo, que el Método A es el más efectivo para el proceso con la educación ambiental en los alumnos.)

Ahora bien, ¿qué pasaría si en el grupo experimental estuvieran los mejores estudiantes, o el mejor profesor, o las mejores condiciones ambientales; entonces nadie podría asegurar si los mejores resultados del grupo experimental se deben a la acción de la variable independiente (método A) o a una combinación de esta con variables ajenas o extrañas. Por tanto, cuando esto sucede, el experimento queda invalidado.

¿Qué hacer entonces para evitar que variables ajenas contaminen la relación causa-efecto entre las variables independiente y dependiente?

Hay que hacer equivalentes u homogéneos (en todas aquellas variables extrañas relevantes) los grupos experimental y de control, de modo que la única diferencia importante entre ellos se relacione con la presencia de la variable independiente en el grupo experimental.

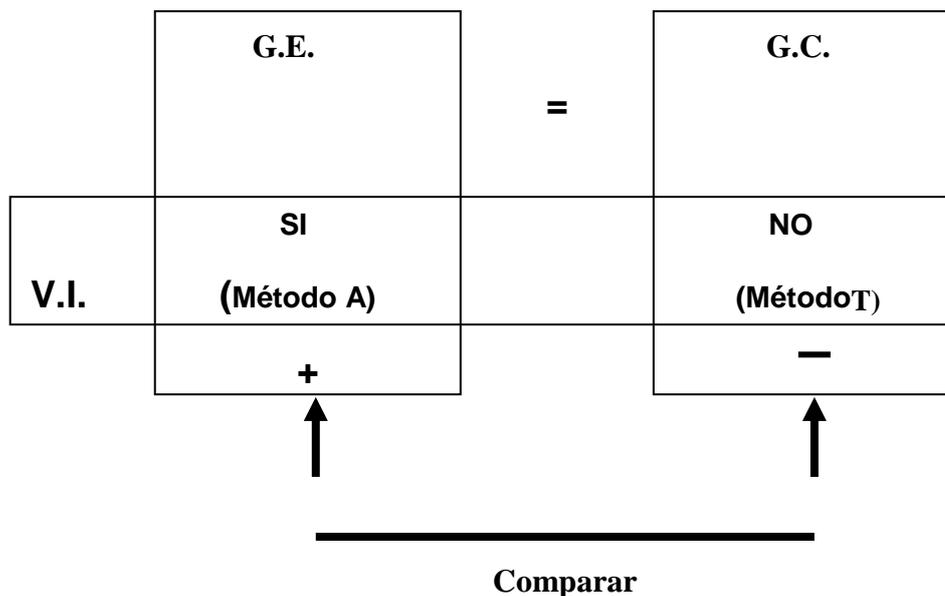


Figura 1. Experimento paralelo. Elaborado por los autores a partir de Hurtado, 2012.

Por otra parte, en un experimento el control se ejerce de modo peculiar en cada tipo de variable determinado, según Egaña (2005) por:

- Control de la variable independiente:

El investigador manipula la variable independiente, es decir, provoca deliberadamente que esta adquiera diferentes valores, con el objetivo de observar su efecto sobre la variable dependiente.

-
- Control de la variable dependiente:

El investigador determina si se harán una, dos, o más medidas de la variable dependiente (número de medidas), además determinará el momento de la medición, que puede efectuarse:

- Después de la acción de la variable independiente (post- test)
- Antes y después de la variable independiente (pre-test y post -test)
- Antes, después y al cabo de cierto tiempo posterior al experimento (pretest, post-test y test diferido)
 - Control de las variables ajenas o extrañas

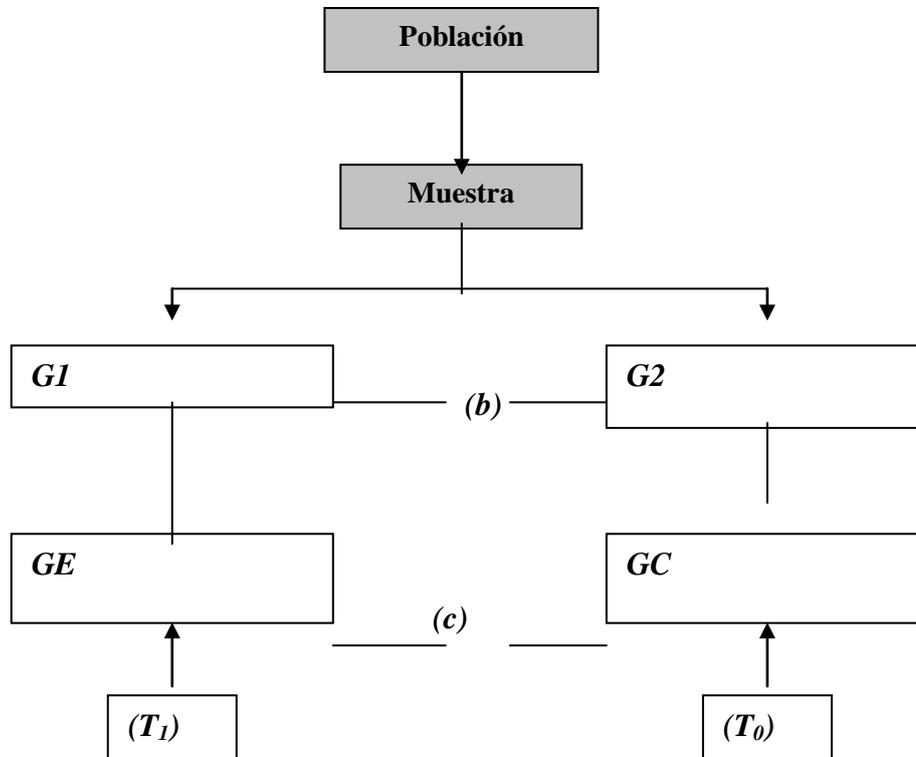
Asimismo en el experimento las variables extrañas generalmente se controlan por:

- Aleatorización
- Constancia
- Apareo
- Bloqueo
- Balanceo
- Contrabalanceo

En particular, para la aleatorización, los autores consideran las siguientes fases:

1. Se selecciona al azar una muestra de la población.
2. Se asignan los sujetos al azar a los distintos grupos.
3. Se asigna al azar cada nivel de la variable independiente a un grupo. El o los grupos que reciben el nivel mínimo de la variable independiente (o ausencia de la variable experimental) se denomina grupo control (GC), el que recibe el tratamiento será denominado grupo experimental.

Mientras mayor es el número de sujetos de la muestra, mayor será a su vez la probabilidad de que las diferencias individuales se compensen por efecto del azar, y por lo tanto, las variables ajenas atribuibles a la muestra de sujetos disminuyan su influencia contaminadora.



- (a) Se selecciona al azar la muestra de la población.
- (b) Se asignan los sujetos al azar a los distintos grupos.
- (c) Se determina al azar cual será, el o los grupos experimentales y de control.

Figura 2. Técnica de la aleatorización. Elaborado por los autores a partir de Hurtado, 2012.

Con respecto a la constancia, las variables ajenas se mantienen a un igual nivel en todos los grupos: iguales condiciones ambientales, edad de los sujetos, sexo, etc.; o se eliminan totalmente (como por ejemplo, los ruidos, objetos que distraen, etc.)

En el apareo se deben formar grupos equivalentes (tabla 1), se parte de aquellas variables ajenas que, a juicio del investigador, pueden contaminar la variable dependiente. La equivalencia se establece formando pares de sujetos con igual puntuación en la variable ajena relevante que se denomina en esta técnica, variable de apareo.

Tabla 1. Técnica del apareo.

Puntuaciones en conocimientos ambientales	Asignación de los sujetos a cada grupo (*)		
	Pares	GE	GC
1. Esther 30	1	Israel	Enma
2. Pedro 33	2	Conrado	Sara
3. Conrado 34	3	Pedro	Jacinto
4. Enma 35	4	Esther	María
5. Mario 28	5	Rosa	Mario
6. Caridad 27	6	Caridad	Manuel
7. Israel 35			
8. Rosa 28			
9. Jacinto 33			
10. María 30			
11. Manuel 27			
12. Sara 34			

(*) De acuerdo con las puntuaciones en el test

Con relación al bloqueo, cuando se forman más de dos grupos experimentales, en lugar de aparearlos (tabla 2), pueden formarse bloques a partir de variables de bloqueo. Los sujetos son asignados al azar dentro de cada bloque (tabla 3).

Tabla 2. Técnica del bloqueo.

Puntuación en el test de conocimientos ambientales	Bloqueo		
	Alta	Media	Baja
1. Esther 30	Conrado	Esther	Mario
2. Pedro 33	Emma	Pedro	Caridad
3. Conrado 34	Israel	Jacinto	Rosa
4. Emma 35	Sara	María	Manuel
5. Mario 28			
6. Caridad 27			
7. Israel 35			
8. Rosa 28			
9. Jacinto 33			
10. María 30			
11. Manuel 27			
12. Sara 34			

Tabla 3. Técnica del bloqueo. Por bloques de inteligencia.

Bloques	Asignación de los sujetos a cada grupo (*)			
	GC	GE1	GE2	GE3
1. Inteligencia alta	Conrado	Emma	Israel	Sara
2. Inteligencia media	Esther	Pedro	Jacinto	María
3. Inteligencia baja	Mario	Caridad	Rosa	Manuel

(*) De acuerdo con las puntuaciones en el test

En relación al balanceo (tabla 4), se debe distribuir de forma equitativa la presencia de la variable ajena relevante en los grupos que se forman:

Tabla 4. Técnica del balanceo.

GRUPOS	SEXO	
	Masculino	Femenino
Grupo Control	Israel	Esther
	Conrado	Caridad
	Pedro	Emma
Grupo Experimental	Jacinto	María
	Manuel	Rosa
	Mario	Sara

En el caso del contrabalanceo o equiponderación (tabla 5), este puede utilizarse cuando se supone que el orden o secuencia de aplicación de los tratamientos es una variable ajena relevante.

Tabla 5. Técnica del contrabalanceo.

T1	T2	T2	T1
Ana	Ana	Ana	Ana
Ignacio	Ignacio	Ignacio	Ignacio
Rafael	Rafael	Rafael	Rafael
...
...
...
Orquídea	Orquídea	Orquídea	Orquídea
Reynaldo	Reynaldo	Reynaldo	Reynaldo
Media 1	Media 2	Media 3	Media 4

Tipos de experimentos. Caracterización y clasificaciones.

Los diseños de investigación de corte experimental, de acuerdo con Hurtado (2012) pueden ser clasificados en:

- Experimentos verdaderos.
- Cuasi-experimentos.
- Pre-experimentos.

En el caso de los experimentos verdaderos (control riguroso de las variables), tales diseños utilizan grupos experimentales y de control con el objetivo de comparar los resultados. Los grupos deben ser equivalentes, en relación con todas las variables ajenas relevantes, y solo deberán diferir en cuanto a los valores de la variable independiente. En esta modalidad se busca la equivalencia de los grupos, es deben utilizar técnicas aleatorias. También pueden ser empleadas otras técnicas de control de variables ajenas o extrañas (apareo, balanceo, contrabalanceo, u otras similares).

Mientras más control se ejerce sobre las variables extrañas, más se garantiza la validez interna del método (pues el investigador puede determinar con más precisión la relación causa-efecto que pretende demostrar), pero al mismo tiempo, este control riguroso provoca que el experimento se desarrolle en condiciones artificiales, que le restan validez externa, al reducir la posibilidad de extrapolar los resultados a las situaciones reales.

La particularidad de esta modalidad consiste en que tiene lugar en situaciones de campo (reales.) Se utiliza cuando el investigador encuentra obstáculos para alterar la configuración de los grupos naturales o considera más apropiado trabajar con estos últimos (sin alterar su configuración se crean grupos artificiales mediante técnicas aleatorias o de otro tipo.)

En estos tipos de diseño el investigador varía deliberadamente los niveles de la variable independiente para estudiar los efectos de esta en la variable dependiente, pero muchas variables ajenas quedan sin controlar.

En el caso de los pre-experimentos (mínimo control de las variables), el investigador solo trabaja con grupos experimentales (no existen grupos de control). En esta modalidad se registra el estado de la variable dependiente (pre-test), luego se introduce la variable independiente (o el tratamiento) y después de la intervención se vuelve a registrar el estado de la variable dependiente (post-test.) El investigador compara los valores de la variable dependiente antes y después de actuar la variable independiente.

La deficiencia fundamental que se le atribuye a los pre-experimentos, es que no se puede determinar con certeza, si las diferencias entre los resultados del pre-test y del post-test, se deben a la acción de la variable independiente o a la acción conjunta de esta con otras variables extrañas, tales como la maduración u otros factores no controlables, asociados al paso del tiempo.

Una virtud indiscutible del pre-experimento es su mayor comodidad, puesto que al trabajar solo con grupos experimentales, el proceso de obtención de los resultados se hace menos complejo que en los diseños de corte paralelo.

La tabla siguiente resume las ideas anteriormente expuestas en los párrafos anteriores.

Tabla 5. Características fundamentales de los diseños de corte experimental.

	Experimentos verdaderos	Cuasi-experimentos	Pre-experimentos
Grupo Control	Sí	Sí	No
Grado de control de variables	Alto	Medio	Bajo
Muestra	Grupos artificialmente creados (2 o más)	Grupos reales (2 o más)	Grupo(s) real(es) (1 o más)
Validez interna	Alta	Media	Baja
Validez externa	Baja	Alta	Media

Hasta aquí se ha tratado el criterio del grado de control de variables para la clasificación de los diseños experimentales. De acuerdo con este criterio se analizaron tres tipos de diseños de corte experimental: los experimentos verdaderos, los cuasi-experimentos, y los pre-experimentos. En la literatura tradicional es común encontrar otros criterios de clasificación de los experimentos. A continuación se refieren brevemente los más frecuentes:

Según Gerhard (2003) teniendo en cuenta el carácter de la estructura lógica, en la demostración de la hipótesis, los experimentos se clasifican en:

Paralelos: Comparación de grupos experimentales y de control equivalentes (la equivalencia se establece a partir del control de las variables ajenas). Si el resultado del grupo experimental es notablemente superior al del grupo de control, la hipótesis se confirma.

Sucesivos: Comparación de un mismo fenómeno antes y después de actuar sobre la variable independiente. Si el resultado “después” es notablemente superior al de “antes”, la hipótesis se confirma.

Como puede analizarse, los cuasi-experimentos y experimentos verdaderos (que fueron estudiados de acuerdo con el criterio anterior), son ejemplos de experimentos paralelos

(de acuerdo con este segundo criterio de clasificación) mientras que los pre-experimentos son (de acuerdo con esta segunda clasificación) experimentos sucesivos.

Según los objetivos que persiguen, los experimentos pueden ser:

De constatación: Tipo especial de experimento en el que el investigador no se propone transformar el fenómeno, sino verificar lo que ya existe. Por ejemplo, si un investigador desea estudiar los procesos cognitivos ambientales, puede situar a los sujetos ante problemas difíciles y analizar cómo los cumplen, la constancia y el control ante las dificultades.

Formativos: En este tipo de experimento el investigador se propone intervenir en el fenómeno para transformarlo, desarrollarlo, perfeccionarlo, llevarlo a un nivel superior. En el ejemplo anterior, si el investigador no solo se interesara por conocer el estado actual de los procesos cognitivos, sino que quisiera contribuir al desarrollo de estos procesos en los sujetos, el experimento sería de tipo formativo.

Según el tipo de validez que predomina en los experimentos, estos pueden ser:

De laboratorio: En este tipo de experimento el investigador ejerce un riguroso control de variables, lo que le posibilita establecer con bastante precisión la relación causa-efecto entre las variables independiente y dependiente. Es por esta razón que se puede asegurar que este es el tipo de experimento de mayor validez interna.

Sin embargo mientras más rigor intenta establecer el investigador en un experimento, mayor artificialidad introduce en el estudio del fenómeno y más difícil resulta extrapolar los resultados de la situación experimental a situaciones reales o naturales, y es esto lo que permite asegurar que en este tipo de experimento hay un nivel bajo de validez externa.

Naturales: En el experimento natural el investigador ejerce un control parcial de las variables debido a que el estudio se produce en condiciones reales. El limitado control de variables característico permite afirmar que en el experimento natural hay un nivel bajo de validez interna. Sin embargo el hecho de llevarse a cabo en condiciones habituales facilita la aplicación de estos a situaciones reales en condiciones similares, por lo que se puede afirmar que existe una mayor validez externa en este tipo de experimento.

Los autores consideran que un experimento es una experiencia científica en la que se provoca de forma intencional una transformación y se observa e interpreta su resultado, con propósitos cognoscitivos.

Las variables que un investigador controla en un experimento son de tres tipos:

Independiente: Factor manipulado como “causa”.

Dependiente: Factor sobre el cual ejerce su efecto la variable independiente.

Ajenas o extrañas: Factores que pueden “contaminar” la relación causa-efecto que el investigador pretende establecer entre las variables independiente y dependiente.

Conclusiones

Se aprecia como regularidad que los investigadores, en el área de la educación ambiental, muchas veces se proponen constatar relaciones entre factores que intervienen en un proceso, cuando el objetivo de una investigación es examinar relaciones de causalidad, entonces el experimento se convierte en un método de posible aplicación por el investigador.

Por ello en los procesos experimentales aplicados a los estudios ambientales y de acuerdo al grado de control de las variables, los experimentos se pudieran clasificar en verdaderos, cuasi-experimentos y pre-experimentos. De acuerdo con el carácter de la estructura lógica de la demostración de la hipótesis, los experimentos pueden ser paralelos y sucesivos. De acuerdo con los objetivos que persiguen, pueden ser de constatación y formativos. Respecto al tipo de validez, serían experimentos de laboratorios y experimentos naturales. De acuerdo con el fenómeno a investigar, se clasificarían en físicos, químicos, biológicos, pedagógicos, entre otros.

Referencias

- Briones, G. (2005). *La investigación social y educativa*. Santa Fe de Bogotá: Secretaría Ejecutiva del Convenio Andrés Bello (SECAB).
- Cohen, L., y Manion, L (1990). *Métodos de investigación educativa*. Madrid: Editorial La Muralla, S.A.
- Egaña, E. (2005). *La Estadística: herramienta fundamental en la investigación pedagógica*. La Habana: Editorial Pueblo y Educación.
- Gerhard, L. (2003). *Experimentación de las ciencias biológicas y Agrícola*. La Habana: Editorial Pueblo y Educación.
- Hurtado, F. (2012). *Estadística*. México D. F: Editorial Trillas/Progreso.
- Van Dalen, D. B., y Meyer, W. J. (1994). *Manual de técnica de la investigación educacional*. México D. F: Editorial PAIDOS.