

Título: Propuesta metodológica para la determinación de las causas de los errores experimentales y accidentes, en las prácticas de laboratorio de Química.

Autores: Yoel Basulto Lemus

Blas Estévez Tamayo

Maria Antonia Bernal Medina

Odalys Mancebo Rivero

Resumen.

Durante la planificación, organización y ejecución de las prácticas de laboratorio de Química ocurren frecuentemente errores experimentales y accidentes, entre los que sobresalen los debido a la incorrecta manipulación de reactivos, aparatos y equipos.

Para el control de dichos errores se propone la utilización de los diagramas de causa-efecto y en particular el tipo Espina de Pescado cuya metodología se expone en este trabajo.

El uso de la metodología por parte de los estudiantes les permitirá la determinación de las causas de sus propios errores experimentales y le brinda la posibilidad de formar o perfeccionar sus habilidades para controlar y evaluar la evolución de su actividad experimental.

Abstract.

During the realization of the practices of laboratory of Chemistry it is frequent the occurrence of experimental errors and accidents, so much in the planning, organization and execution of these activities, in which the manipulation of reagents, apparatuses and equipments are included.

For the control of both events that happen in the experimental learning process, the use of the cause-effect diagrams is proposed.

In this work a methodology is described for the use of the diagram of cause-effect of the type it Pricks with thorns of Fish for the determination of the causes of the experimental errors and accidents of laboratories that the students make during the realization of the practices of laboratory of Chemistry.

The use of the methodology on the part of the students will allow them the determination of the causes of its own experimental errors.

Using the methodology offers the student the possibility to form abilities to control and to evaluate the evolution of their activity.

Introducción.

En el proceso de enseñanza –aprendizaje de las ciencias naturales la experimentación escolar es tratada por diferentes tendencias didácticas. Una de ellas, llamada académica o tradicional, según J., FRAGA (1996), se caracteriza por la realización de experimentos en los que al estudiante se le orienta exactamente qué hacer, con qué hacer, cómo y qué resultados va a obtener y los experimentos se realizan en un tiempo fijo y sin posibilidad de experimentar otras variantes de solución; informalmente se le llama también “recetas de cocina” (GIL D., y col. 1996, 1999). Un modelo contrapuesto a este es el denominado investigativo o experimental (GIL D., y VALDÉS CASTRO P., 1996) o enseñanza problémica (TORRES P., 1986), el cual brida un tratamiento cualitativo a la situación problémica y conduce al alumno a la formulación de problemas más precisos y al enunciado de hipótesis escolares que orientan el estudio a realizar.

En la realización de las actividades experimentales docentes de Química, al utilizar cualquiera de las tendencias didácticas anteriores los estudiantes están expuestos a cometer errores experimentales y accidentes. El error experimental es tratado por L. GRAU CAIRO (GRAU CAIRO, L., y col. 1982)

solamente como los asociados a las mediciones en una determinación cuantitativa, sin embargo es necesario concebir el error experimental desde una perspectiva más amplia, tanto la relacionada con la resolución del problema de “lápiz y papel” (GIL D., y col. 1996, 1999), es decir la planificación y organización, como también la manipulación por parte del estudiante (ejecución), en la cual se incluye la medición experimental, y el control y evaluación que realiza el alumno como parte de su autodirección. El accidente de laboratorio que comete el estudiante, con afectación a su salud y/o a la economía, se considera un caso particular del error experimental.

La literatura el respecto registra (GONZÁLEZ ÁRIAS, A., 1983; ALEXEIEV, V.N., 1985; DELHAY, P., 1970; PICHES PARET, G., 1978; GRAU CAIRO, L., y col. 1982) los fundamentos básicos del análisis de los errores de medición y estadísticos que se generan cuando se lleva a cabo cualquier determinación experimental, cuya aplicación es importante para poder interpretar de forma satisfactoria los resultados de la experimentación. Respecto al accidente se ofrecen las reglas de orden y disciplina durante la realización de las actividades experimentales, así como la clasificación de los accidentes, las medidas de protección y los tratamientos.

En la referida literatura no se describen metodologías para la determinación de las causas de los errores experimentales por parte de los estudiantes, es decir, que brinden al alumno el cómo realizar estas determinaciones, pues se parte de concebir el error experimental como parte importante de la actividad, pues sirven para detectar insuficiencias a superar y la promoción de su autorregulación. El error experimental puede convertirse en una oportunidad para el aprendizaje.

La determinación de los factores causales de los errores experimentales no debe ser tomada a la ligera y promover búsquedas individuales y espontáneas de modelos y algoritmos por los propios alumnos; ni promovidas por los docentes. Se debe potenciar la utilización de propuestas fundamentadas en la teoría del análisis causal, de la que se deriven metodologías para la determinación de las causa de eventos producidos en el ámbito de las ciencias experimentales, la tecnología y la sociedad.

En el presente trabajo se propone una metodología para la determinación de las causas de los errores experimentales, mediante la utilización de los diagramas de causa-efecto, en específico la Espina de pescado. El uso de esta por parte de los estudiantes les permite realizar un autocontrol y autoevaluación de su actividad experimental.

Desarrollo.

Durante la realización de las prácticas de laboratorio de Química, es frecuente la ocurrencia de errores experimentales y accidentes durante su ejecución, en la cual se incluye la manipulación de reactivos, equipos y útiles de laboratorio. Para el control de ambos eventos se propone la utilización de los diagrama de causa-efecto, y a modo de ejemplificación el diagrama Espina de pescado.

Los diagramas de causa-efecto fueron ideados por el profesor KAORU ISHIKAWA, de la Universidad de Tokio en 1943, con el fin de clasificar y vincular entre si los diversos factores causales que intervenían en el proceso de fabricación de aceros. Desde este punto de vista los diagramas de causa-efecto son un método de Control de Calidad, pero actualmente se utilizan también en la solución de situaciones en las que se desea determinar las causas de la ocurrencia de un evento determinado, como son los procesos investigativos de accidentes industriales o laborales, que acometen los especialistas en Seguridad Industrial en el ámbito mundial.

Metodología para la determinación de las causas de los errores experimentales y accidentes, en el laboratorio docente de Química, mediante el uso del diagrama de causa-efecto; Espina de pescado.

Para implementar la propuesta se ofrecen los siguientes pasos metodológicos para su elaboración y utilización:

1. Escribir el error experimental o accidente, a la derecha. Trazar una flecha gruesa de izquierda a derecha, que sería la espina central del pescado.
2. Agrupar todos los posibles factores causales que posibiliten la probable ocurrencia del error experimental o el accidente, en las etapas de: Planificación (Causa 1), Orientación (Causa 2), Ejecución (Causa 3) y Control (Causa 4).
3. Colocar los anteriores factores trazando flechas secundarias en dirección a la principal. Cada grupo formará una espina secundaria.
4. Determinar todas las causas de las anteriores sub-causas (espinas secundarias), tales como: reactivos, equipos, preparación previa,

procedimiento de calculo, manipulación, método de trabajo, conocimientos precedentes, entre otros. Estas formaran las ramificaciones menores (espinas pequeñas).

5. Incorporar a cada una de las espinas pequeñas los factores causales aún más detallados (espinitas), es decir las causas últimas principales que determinan la ocurrencia del error experimental o el accidente.

Para la determinación de las causas siempre se debe responder a la pregunta:

¿Por qué ocurrió este evento?. A modo de ejemplo, le mostramos las siguientes interrogantes:

- ¿ Es totalmente cuantitativa la reacción de la cual depende la determinación?.
- ¿Será parcialmente soluble el precipitado formado?.
- ¿ Podrán coprecipitar impurezas con el precipitado?.
- ¿ La reacción principal puede ser acompañada por reacciones colaterales que distorsione el resultado?.
- ¿ El indicador usado en la valoración puede influir en los resultados?.
- ¿Los equipos y útiles de laboratorio están calibrados?.
- ¿ La muestra está libre de contaminantes?.
- ¿ La preparación de disoluciones de concentración exactamente conocida, patrones o disoluciones estandarizadas en las valoraciones, son correctas?.
- ¿ Su visibilidad le permite detectar exactamente el punto final de una valoración?.
- ¿ Registra sus resultados con objetividad o se predispone fácilmente por los resultados de otros alumnos, diferentes a los suyos?.
- ¿ Es cuidadoso y exacto en sus manipulaciones en el laboratorio químico?.
- ¿ Las magnitudes químicas y físico - químicas las lee exactamente?.

6. Verificar que todos los factores causales del error manipulativo o del accidente estén incluidos en el diagrama. Si lo están, y si han quedado adecuadamente ilustradas las relaciones causas y efecto, el diagrama está completo.

7. Determinar para cada uno de los grupos de factores causales (flechas secundarias) las causas últimas principales, que determinan la ocurrencia del error experimental o el accidente (espinitas). Que al eliminarlas del diagrama eliminen los grupos de factores causales (flechas secundarias) y por tanto el error manipulativo o el accidente acaecido.

Estos diagramas causa-efecto se construyen para ilustrar con claridad las diversas causas que pueden haber incidido en la ocurrencia de un error experimental o un accidente, durante la realización de las actividades experimentales, clasificándolas y vinculándolas entre sí. Una Espina de Pescado bien elaborada se adapta a este objetivo, cumpliendo con el propósito por la que fue construida. Hay varias maneras de utilizarlas, pero las principales se muestran a continuación:

1. Construir una Espina de Pescado tiene un valor educativo.

Al elaborar la Espina de Pescado, se toman ideas y criterios de la mayor cantidad de alumnos, profesores y especialistas posibles. Estas consultas dan lugar a que cada uno expone su experiencia y su dominio de las habilidades experimentales, y todos los que participen en la construcción de la Espina de Pescado aprenderán algo nuevo.

2. Un diagrama causa y efecto evidencia la formación y desarrollo de las habilidades experimentales.

El hecho de que un alumno pueda elaborar en detalle una Espina de Pescado revela un conocimiento de la operacionalización de las habilidades experimentales, y los procedimientos seguidos para la resolución de una situación problémica experimental. En otras palabras, cuanto más elevado sea el nivel formación y desarrollo de los conocimientos y habilidades experimentales, de la disciplina, por parte del estudiante, mejor resultará la Espina de Pescado.

3. Una Espina de Pescado sirve como guía preventiva.

La ocurrencia de un error experimental o un accidente, no puede pasar inadvertido, por lo que la elaboración del respectivo diagrama causa y efecto, sirve para prevenir futuros sucesos de esta índole. Incluso, de acaecer alguno de ellos se llegaría más rápidamente a la determinación de las causas del nuevo incidente, con la consiguiente adopción de medidas.

4. Un diagrama de causa y efecto puede utilizarse para resolver cualquier otra situación de la docencia, en la que se desconoce las causas que la provocan.

Aquí hemos examinado la utilización de la Espina de Pescado en la detección de las causas de la ocurrencia de errores experimentales y de accidentes en el Laboratorio docente; pero, puesto que este tipo de diagrama ilustra la relación que existe entre causa y efecto, es factible utilizarlo en cualquier otra situación de la docencia, tales como:

- En el cálculo químico, en la búsqueda de los errores cometidos para obtener el resultado.
- En la escritura de ecuaciones químicas, pueden incidir la falta de dominio en la nomenclatura química.
- Limitaciones en la escritura de las fórmulas químicas, por no dominar los números de oxidación.

Hay que tomar medidas para corregir las causas que afecten la calidad de la docencia, ¿pero cómo realizar tal acción si desconocemos la relación causal que provocó tales incidentes?. Por tanto, el docente y el futuro egresado, se ven imposibilitados de adoptar medidas efectivas, para erradicar situaciones que se les presenten de este tipo. Un diagrama de causa y efecto constituye un modo claro, de poner de manifiesto las causas de los errores, a fin de poder actuar con seguridad y rapidez.

5. Buscar diligentemente las causas y registrar los resultados en la Espina de Pescado.

Toda vez que se descubran los indicios de la ocurrencia de algún error experimental o un posible accidente, o que haya acaecido el mismo, se debe buscar diligentemente el factor causal que lo provoca. Si se encuentra el factor real, se repiten los pasos que se siguieron para hallar la causa, sobre la Espina de Pescado.

Si al buscar los factores causales, el diagrama lo desorienta, o si no se puede precisar el factor real, quiere decir que las causas consignadas

en la Espina de Pescado no son las verdaderas causas del incidente. Entonces, se debe reconstruir el diagrama de conformidad con los pasos que efectivamente siguió, durante la actividad experimental. Si el verdadero factor no está escrito sobre la Espina de Pescado, no se debe dejar de escribirlo.

6. Diagramas de causa y efecto defectuosos.

Por lo general, una causa está compuesta de muchos elementos complejos (subcausas). De ahí que las Espinas de Pescado, asuman una forma bastante complicada, al aparecer un sinnúmero de posibles factores causales aún más detallados. Si el resultado final de la construcción, es una Espina de Pescado muy sencilla, esto indica que los conocimientos de la operacionalización de las habilidades experimentales y los procedimientos seguidos para la resolución de una situación problemática experimental, son todavía demasiados superficiales. De manera análoga, tampoco puede considerarse una buena Espina de Pescado, aquella que enumere escasas causas determinantes en la ocurrencia del error experimental o el accidente, aunque su forma sea la correcta.

Con la eliminación de las causas principales, ejemplo:

- interpretación incorrecta de la escala (ejecución),
- estudio deficiente e incompleto del Sistema de Habilidades Experimentales (preparación previa),
- falta de concentración,
- distracción,
- se logra eliminar el efecto indeseado: resultado incorrecto del valor de concentración.

Para llegar a este resultado se deben formular preguntas como estas: ¿Por qué se origina este evento?. Para cada uno de los factores causales que están registrados en la Espina de Pescado, hasta llegar a un momento en que no se tenga respuesta a dicha pregunta, por lo que en ese caso se toma la última respuesta como la causa última principal, la cual puede ser o no, una de las causas determinantes de la ocurrencia del error experimental o el accidente.

La metodología se implantó en la asignatura Métodos Químico-Físicos de Análisis con los estudiantes del 4to año de la carrera de Química en el curso 2001-2002.

Los resultados que se obtuvieron se muestran en el siguiente gráfico:

Se observa el número elevado de estudiantes que aplicaron la metodología al finalizar la primera práctica de laboratorio y a medida que transcurrieron las demás actividades experimentales disminuye el número que tienen la necesidad de usar los diagramas.

Los resultados anteriores muestran que en los estudiantes se formaron habilidades de autocontrol durante la realización de las actividades experimentales.

Conclusiones.

La metodología propuesta permite la búsqueda y detección de las causas de los errores experimentales cometidos por los estudiantes en el laboratorio docente de Química. Este aspecto ha sido poco tratado en la enseñanza de la

Química, como parte integrante de lo que se ha dado a conocer como “aprender a aprender”.

La aplicación de la metodología en las actividades experimentales de la asignatura Métodos Químico-Físicos de Análisis, permite la determinación y eliminación de los errores experimentales por parte de los estudiantes, lo que contribuye a su autoaprendizaje sobre la base de sus propias deficiencias y carencias.

La disminución de la frecuencia de utilización por parte de los estudiantes de los diagramas, evidencia la formación de habilidades experimentales de la asignatura.

Bibliografía.

Alexeiev, V. N. Análisis cuantitativo. / V. N. Alexeiev. -- La Habana: Ediciones Revolucionarias, 1985. -- 517 p.

Delhay, P. Análisis Instrumental. / P. Delhay. -- La Habana: Ediciones Revolucionarias, 1970. -- 615 p.

Gil, D. Temas escogidos de didáctica de la física. / D. Gil. -- Ciudad de La Habana: Pueblo y Educación, 1996. -- 122 p.

Gil, D. ... [et al.]. ¿Tiene sentido seguir distinguiendo entre el aprendizaje de conceptos, resolución de problemas de lápiz y papel y realización de prácticas de laboratorios?. Revista Enseñanza de las Ciencias. Vol. (17): 311-320, 1999.

González, A. Errores y mediciones. / A. González. -- Ciudad de la Habana: Científico-técnica, 1983. -- 107 p.

Grau Cairo, L. Organización, dirección y operaciones fundamentales en el laboratorio de Química. / L. Grau Cairo. -- La Habana: Pueblo y Educación, 1982. -- 618 p.

Portuondo, F. Fundamentos de la Ingeniería Industrial. / F. Portuondo. -- Ciudad de la Habana: Instituto Superior Politécnico "José A. Echeverría", 1990. -- 435p.

Torres, P. El método heurístico en la enseñanza de la Matemática del nivel medio general. Revista Educación.

Vol. (60): 70-76, Enero-Marzo, 1986.