

# Diseño de Experimentos

**Horacio Napolitano**

## INTRODUCCIÓN

El diseño de experimentos es esencialmente una estrategia para la planificación de experimentos de manera tal que las conclusiones relevantes sean alcanzadas en forma eficiente y económica. La selección del plan experimental específico es dependiente del tipo de preguntas a ser respondidas, el grado de generalidad a vincularse a las conclusiones y los recursos disponibles (material experimental, personal, tiempo). Un experimento diseñado y ejecutado apropiadamente permite en forma simple un análisis estadístico y la interpretación de los resultados.

En los últimos años, la aplicación del diseño experimental ha florecido notablemente debido al reconocimiento que los experimentos diseñados son esenciales para la mejora de la calidad de productos y servicios. Además el gerenciamiento del control estadístico de calidad, resuelve la inspección y otras herramientas de calidad que también sirven para esta función, el diseño de experimentos representa la metodología de la elección de marcos complejos, variables e interacciones. Históricamente, el diseño de experimentos ha evolucionado y prosperado en las áreas agrícolas. La medicina tam-

bién ha disfrutado una larga historia de diseños experimentales cuidadosos. Rutinariamente, los procesos industriales son testigos de los beneficios considerables de esta metodología – debido a la facilidad para iniciar esfuerzos (paquetes informáticos amigables para el usuario), mejoras en el entrenamiento, apoyan las influencias y sucesos acumulativos del diseño de experimentos.

Los experimentos factoriales proporcionan una metodología para estudiar las interrelaciones entre los factores múltiples de interés para el experimentador. Este tipo de experimentos son mucho más eficientes y efectivos que los experimentos intuitivos “un – factor – cada – vez”. Los experimentos factoriales están bien ajustados para la determinar que un factor procede en forma diferente (reflejado en la respuesta experimental) a niveles diferentes de los otros factores. Frecuentemente, el “avance sensorial” en calidad comienza a partir del sinergismo revelado en un estudio de “interacciones”. Si el número de factores bajo consideración es grande, entonces los experimentos factoriales van a exceder los recursos. Sin embargo, los diseños factorial fraccionarios ofrecen un compromiso posible. Actualmente, si el objetivo inicial es identificar factores afianzados durante la

investigación, entonces se deben usar los diseños de barrido.

En la planificación de un experimento, es necesario limitar los desvíos introducidos por las condiciones experimentales o a la asignación de tratamientos a las unidades experimentales. Tópicos como la “aleatorización” y “bloqueado” cumplen con minimizar los efectos molestos o elementos extraños. Las estrategias específicas de bloqueo incluyen los diseños de bloques aleatorizados. Los diseños de cuadrados latinos y sus variantes y los diseños de bloques incompletos.

Mirando el diseño de experimentos como un proceso evolutivo teniendo como objetivo la mejora continua, los diseños de superficie de respuesta juegan un rol fundamental. Considerando niveles múltiples de los factores claves, los métodos de superficie de respuesta, acomodan los efectos curvilíneos en la vecindad de los puntos óptimos.

Los diseños mezcla manejan situaciones en los cuales los factores constituyen las proporciones de un total, tales como ingredientes en una aleación. Los ensayos anidados son usados en los ensayos interlaboratorios.

Los métodos de análisis de los datos recogidos son considerados si el experimento se realiza de acuerdo con lo planificado. Los métodos gráficos pueden ser particularmente efectivos en revelar las conclusiones totales. La estimación de los parámetros de un modelo es manejado usando el análisis de regresión. Los métodos usados en el análisis de regresión ayudan con las dificultades que se presentan cuando hay datos perdidos, identificación de datos fuera de límites (outliers) y otros problemas.

Un buen diseño experimental debe:

- incorporar el conocimiento y la experiencia previa en la selección de los factores, sus niveles, y en describir las suposiciones;
- pulir la información relevante demandando el menor esfuerzo;
- asegurar, antes de comenzar el experimento, que el diseño es capaz de alcanzar el objetivo del experimento con la precisión deseada;
- especificar el arreglo y la secuencia del experimento experimental para eliminar malos entendidos cuando el experimento está en progreso.

## CONCEPTOS BÁSICOS

### a. Que involucra la experimentación?

El experimento involucra cambiar cosas que se cree van a tener efectos sobre el desempeño del proceso, producto o servicio. Por cambiar un grupo de condiciones, para estimar un patrón predeterminado respecto del efecto actual.

En un experimento:

- las cosas que se cambian se llaman *factores*;
- las condiciones en las cuales se cambian los factores, son conocidas como *niveles*;

- el valor del desempeño de la característica de salida, se llama la *respuesta*;
- el cambio en la respuesta resultante de un cambio en el nivel de un factor, es identificado como un *efecto*.

### b. Porque un experimento?

La experimentación tiene muchos usos prácticos. Permite determinar la dependencia de los estándares del desempeño, aceptabilidad y producción de productos y servicios, procesos, materiales y mezclas están influenciados por:

- rasgos de los productos y servicios (ej.: tolerancias, valores nominales, etc.);
- parámetros de los procesos (ej.: temperatura y presión);
- propiedades de los materiales (ej.: dureza, maleabilidad);
- formulaciones de mezclas (ej.: aleaciones, combustibles, concreto, etc).

Hace tiempo que la experimentación juega un rol mayor en la solución de un problema, es necesario cambiar progresivamente el énfasis a esta integración en las actividades principales del diseño y desarrollo. Genichi Taguchi propuso una aproximación de dos pasos la cual usa la experimentación para "sintonizar" un diseño a un prototipo básico, en el cual aparecen los términos "parámetros" de diseño y "tolerancia" de diseño.

Los parámetros de diseño conciernen a la identificación y explotación de tres tipos de factores del diseño:

- factores de control: estos afectan la variación de la respuesta;
- factores de señal: estos afectan el nivel de la respuesta;
- factores nulos: estos no afectan materialmente la variación o nivel de la respuesta

Primero, deben identificarse y ajustarse los

factores de control para alcanzar la "robustez" del diseño. Un diseño robusto es uno que sea insensible a los llamados, factores de ruido los cuales son imposibles, inconvenientes e impracticables de controlar.

Ejemplos de factores de ruido son: medio ambiente, temperatura ambiente, humedad, vibración, provisión de energía y polvo, deterioro, desgaste, deriva y fatiga, imperfecciones en la fabricación, entrega o uso, alejamiento de la normal.

Segundo, se ajustan los factores de señal para lograr la respuesta para el objetivo.

Tercero, se ajustan los efectos nulos al nivel más económico.

El efecto total en identificar y fijar los valores nominales para los factores del diseño en esta forma nos permite alcanzar el óptimo.

La tolerancia de diseño concierne en especificar las tolerancias y controles más liberales para cumplir con un desempeño dado. Esto se alcanza por la experimentación para tratar de aventajar cualquier relación no lineal entre los factores y las respuestas.

### Donde entran las estadísticas?

Los diseños para la experimentación estadística emanan de los trabajos de R.A. Fisher en Inglaterra en los años 20. previo a esto se lo juzgó científicamente para conducir a un experimento multifactorial variando el nivel de un factor por vez, manteniendo constante los niveles de los otros factores. Fisher introdujo el concepto de *diseño experimental* en el cual todos los factores se varían simultáneamente. Las principales motivaciones para usar los experimentos diseñados estadísticamente incluyen:

- incremento en la información para un

- número dado de corridas experimentales, incluyendo la separación de los efectos principales, interacciones y el "ruido" experimental;
- b. ahorros potenciales de costo y tiempo a través de la reducción en el número de corridas experimentales requeridas para una efectividad dada y la capacidad para planificar y ejecutar más eficientemente los ensayos;
- c. habilidad para predecir las combinaciones óptimas de los niveles factor siempre y cuando ellas no formen parte del plan experimental actual;
- d. capacidad para adoptar una secuencia más que una aproximación de "un-tiro";
- e. análisis e interpretación de los resultados relativamente fácil.

**Que tipo de diseños experimentales hay, que uno conoce y están disponibles para ser usados?**

*a. Experimentos Factoriales Completos*

Los experimentos con factoriales completos en la forma de arreglos ortogonales (balanceados) están bien ajustados para determinar la extensión para la cual el efecto sobre la respuesta de un cambio en el nivel de un factor difiere a niveles diferentes para los otros factores.

Sin embargo, cuando el número de factores y/o sus niveles permiten un tamaño grande, tiene una gran probabilidad un experimento factorial completo. Por ejemplo, para ensayar todas las combinaciones de 6 factores cada uno a 4 niveles, requiere un mínimo de  $4^6 = 4096$  corridas experimentales. Pueden requerirse corridas experimentales adicionales para investigar la variación en la respuesta para cada combinación y para estimar el ruido experimental. En estos casos un evento de los diseños factoriales fraccionarios proporcionan una

solución económica que es técnicamente adecuada en situaciones con un alto grado de interacciones y cuando la no linealidad tiene que ser ignorada en forma segura.

*b. Experimentos Factoriales Fraccionarios*

Los diseños factoriales fraccionarios son el resultado de los trabajos de Tippet, Finney y Rao en los años 1930 y 1940. Más recientemente fueron popularizados por Taguchi. Hay disponibles un número importante de arreglos ortogonales simples, con muchas instrucciones publicadas para la selección, aplicación y análisis. La versatilidad del más popular y básico de los arreglos ortogonales se muestran en la Tabla 1. Se muestran las consideraciones técnicas que algunas interacciones no son consideradas aptas para ser importantes, también permiten hacer un considerable esfuerzo para la economía en los experimentos. Como mínimo se requiere un diseño de tres niveles para investigar la no linealidad.

El diseño L8 de la Tabla 1 es un arreglo ortogonal estándar (balanceado) con siete columnas y ocho filas. Los Factores A, B y C, etc., se asignan a las columnas. Los niveles de los factores se indican con 1 o 2. En algunos textos, agregan los signos menos y más. Cada fila indica una combinación de factores de niveles realizar el experimento. El diseño es tal que pueden hacerse cuatro estimaciones independientes del efecto de cada factor sobre la respuesta, a cada nivel bajo condiciones operativas diferentes de los otros factores. Estos cuatro factores pueden ser promediados para cada nivel del factor.

Para usar estos diseños factoriales, es necesario considerar las siguientes cuestiones:

- a. La necesidad estadística de la aleatorización de la secuencia de corridas para protegerla contra los desvíos debidos a factores no incluidos en el

experimento. Por ejemplo, sin aleatorización, la situación de las dos primeras corridas para el L8 fueron ejecutadas el Sábado a la mañana, las próximas dos el Sábado a la tarde con las cuatro corridas hechas en forma similar el domingo. Si no es posible separar el efecto día a día presente en la columna 1 del efecto del factor A, los estadísticos dicen que los efectos están confundidos. No es posible separar el efecto de la mañana a la tarde en la columna 2 del efecto del factor B. Operacionalmente interesa que se mantenga el orden dado en la Tabla 1, si algún nivel del factor es más difícil de cambiar que otro. El factor más difícil de cambiar se pone en la columna 1, la que tiene el número mínimo de cambios y el factor más fácil de cambiar se pone en la columna 4, el que tiene el número máximo de cambios. Aquí el orden actual debe estar basado en un trato entre consideraciones estadísticas y operacionales.

- b. replicación/repetición del experimento para cada combinación especificada de los niveles de los factores. Esto es deseable por dos razones principales: una, para estimar el valor de cualquier error o ruido; dos, para proporcionar una medida de la variación de la respuesta en cada combinación. Lo último se requiere si el experimento apunta a optimizar la respuesta con variación mínima.
- c. experimentación secuencial, es el opuesto a los experimentos de "un-tiro". Esto es posible con el diseño L8. Esta flexibilidad facilita la construcción del conocimiento a medida que aumenta la experiencia del experimentador para cumplir los objetivos del experimento con un mínimo de esfuerzo y costo. Por instancia, si el diseño L8 no rinde la información requerida, agregando cuatro o siete factores, se puede extender a un diseño L16 que tiene 15 factores columnas y 16 corridas.

c. Diseño Anidado o Jerárquico

Otro diseño experimental es el diseño experimental es el *diseño anidado o jerárquico*.

En este diseño cada nivel de un factor dado aparece solo en un nivel único de cualquier otro factor. En la figura siguiente se muestra un ejemplo:

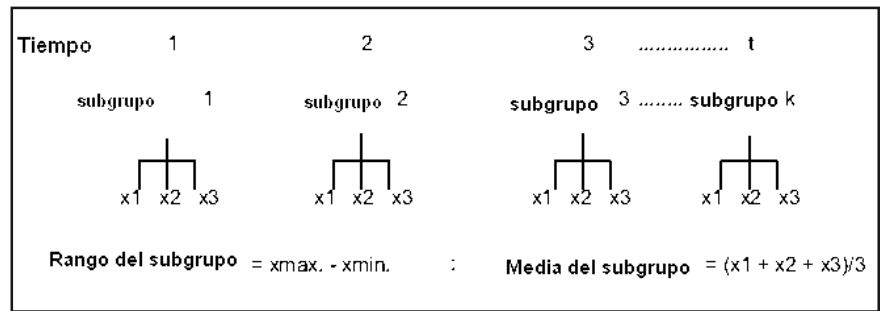


Figura 1: Un diseño anidado a dos factores es la base de una carta Xbarra-Rango (ilustrada con un tamaño de subgrupo de 3)

Tabla 1 – Diseños alternativos usados con el arreglo L8 a dos niveles de “Taguchi”

Lattice L8		Factores para Columnas						
		1	2	3	4	5	6	7
Corrida N	1	1	1	1	1	1	1	1
	2	1	1	1	2	2	2	2
	3	1	2	2	1	1	2	2
	4	1	2	2	2	2	1	1
	5	2	1	2	1	2	1	2
	6	2	1	2	2	1	2	1
	7	2	2	1	1	2	2	1
	8	2	2	1	2	1	1	2
<i>Diseño 1</i> Factorial completo, diseño con 3 factores con todas las interacciones aisladas		A	B		C			
				AB		AC	BC	ABC
<i>Diseño 2</i> Diseño de 4 factores con los efectos principales claros todos de 2 factores interacciones		A	B		C			D
				AB CD		AC BD	BC AD	
<i>Diseño 3</i> Diseño de 7 factores con cada factor confundido con 3 interacciones de dos factores (solo se muestran 2 factores)		A	B	C	D	E	F	G
		BC	AV	AB	AE	AD	AG	AF
		DE	DF	DG	BF	BG	BD	BE
		FE	EG	EF	CG	CF	CE	CD

Se dice que un factor está confundido con otro factor, o factores, cuando sus efectos separados no pueden ser aislados

d. Diseños compuestos de respuestas de superficie

Otra clase importante de experimentos es el *diseño compuesto*. Estos se usan en el desarrollo de respuestas de superficie para encontrar la combinaciones óptimas de los factores de nivel en presencia de interacciones y no linealidad y cuando solo

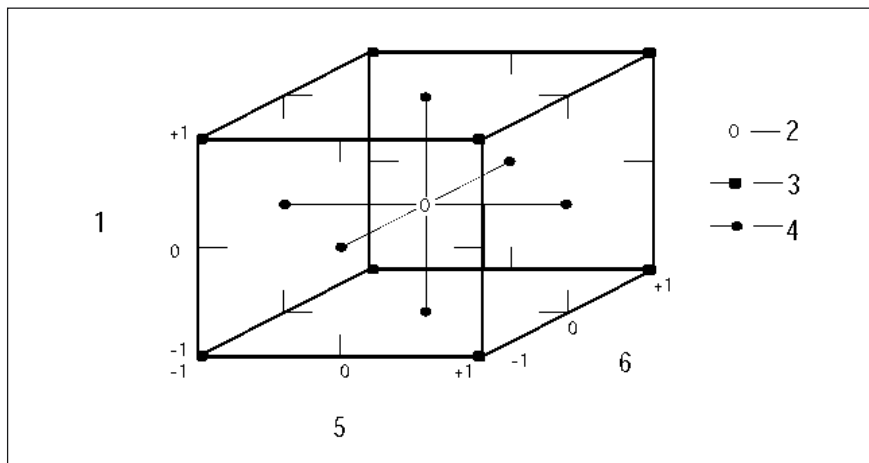
se consideran la no linealidad de primer orden y dos interacciones. Uno de estos diseños consiste de tres tipos de puntos: puntos factoriales  $2^k$ , puntos axiales  $2k$  y  $n$  puntos centrales, siendo  $k$  el número de factores de ensayos requeridos para un diseño central completo es:

$$2^k + 2k + n$$

Un diseño central compuesto completo para tres factores, cada uno a tres niveles, se muestra gráficamente en la Figura 1. Los puntos axiales se igualan a la variación de un factor solamente manteniendo los otros factores constantes en los niveles nominales. Los puntos factoriales permiten estimar las interacciones de los dos factores. Simultáneamente los puntos centrales y axiales

permiten evaluar los términos lineal y cuadráticos (curvatura). Aunque, hay variaciones en el diseño central compuesto, estas

variaciones proporcionan económicamente una cobertura bastante buena del espacio del diseño.



Siendo:

- |                       |                   |
|-----------------------|-------------------|
| 1. Factor A           | 4. puntos axiales |
| 2. puntos centrales   | 5. Factor B       |
| 3. puntos factoriales | 6. Factor C       |

Figura 2: Diseño compuesto central para 3 factores, cada uno a 3 niveles: -1, 0, +1.

e. Diseños Mezcla

Un *diseño mezcla* es una clase especial de experimento en el cual la respuesta depende solamente de las proporciones relativas de los factores (ingredientes) y no de sus cantidades absolutas. Se aplican a productos que comprenden una mezcla de dos o más ingredientes para optimizar el desempeño de varias combinaciones y mezclas. Este diseño de experimentos está en la for-

ma Simplex. Para dos componentes, el espacio de la mezcla da una línea recta, para una mezcla de tres componentes, el espacio mezcla es un triángulo equilátero, y para una mezcla de cuatro componentes es un tetraedro. Esto surge de la región del "diseño para la región de la mezcla "constreñida" comparada con el "diseño de la región del factor no constreñido" del diseño central compuesto de las Figuras 2, 3 y 4.

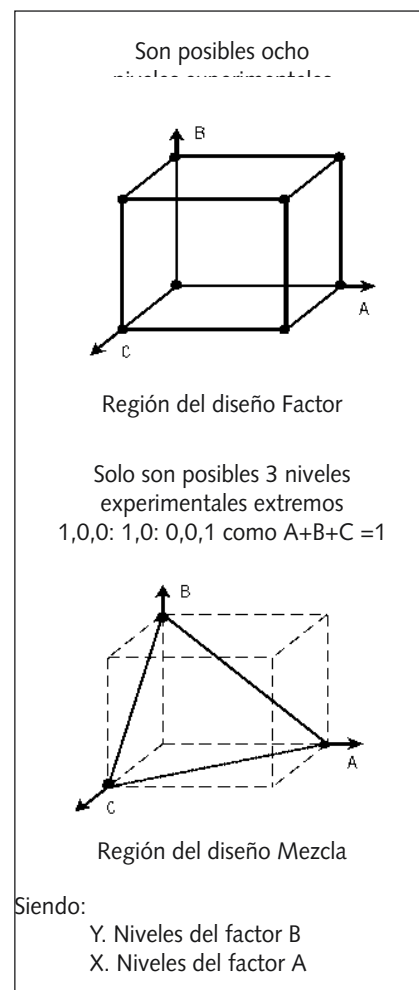


Figura 4: Ilustración de la diferencia fundamental en diseños para tres factores independientes comparado con una mezcla de tres - componentes.

Para las Figuras 2 y 3, los niveles de los factores para el diseño mezcla están expresados en formato estándar. Por ejemplo, 1,0,0 no indica que la mezcla sea A pura sin contener B o C. Para determinar las proporciones actuales en la mezcla es necesario referirse a la proporción más baja constreñiendo simultáneamente con cualquiera de los dos a la proporción más alta o la proporción total de la mezcla hecha por la suma de los componentes en el experimento. Por ejemplo, supongamos el combustible en una mezcla de propelentes tiene la siguiente proporción constreñida: 0,2 £ combustible £ 0,4, luego se normaliza a 1 = 0,4, normaliza a 0 = 0,2 y la normalización 0,5 = 0,3.

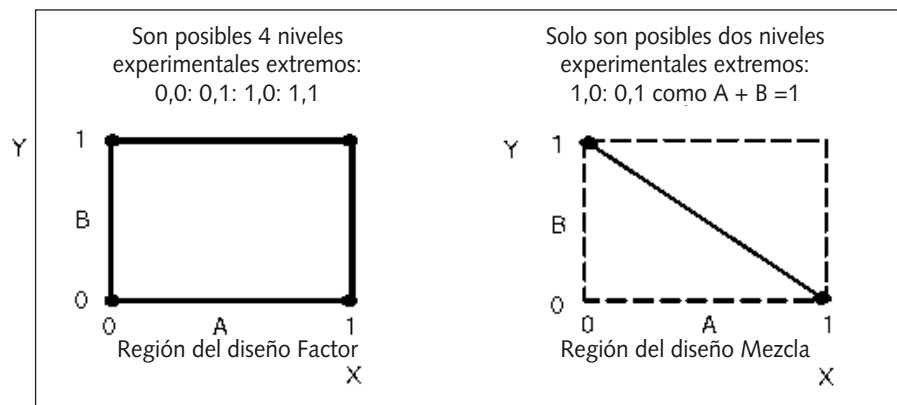


Figura 3: Ilustración de la diferencia fundamental en diseños para dos factores independientes comparado con una mezcla de dos - componentes.

Hay disponibles varios diseños mezcla. Un tratamiento comprensivo de los diseños mezcla se debe a Cornell. Un diseño típico para una mezcla de 3 componentes, el *centroide simplex aumentado* se muestra gráficamente en la figura 4. El diseño centroide simplex aumentado es un diseño mezcla popular con 6 puntos espaciados en el perímetro, un adicional de 3 puntos axiales localizados en el interior a medio camino entre el centroide y los vértices y 1 punto en el centroide.

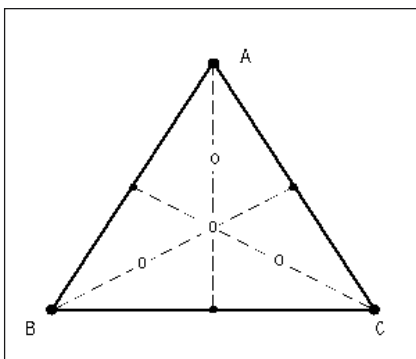


Figura 4: Diseño simplex con diez puntos aumentados para tres – componentes

#### f. Diseño Operación Evolutiva (EVOP)

La *Operación Evolutiva* avanza dentro del escenario del experimento en dos maneras específicas: uno, como un diseño extremadamente simple, y, dos, como una técnica para una búsqueda numérica intensiva muy difícil de calcular, típicamente usando algoritmos genéticos para determinar soluciones óptimas. Vamos a describir solamente la primera.

George Box comparó el desarrollo de un proceso, producto o servicio que evolucionan con naturalidad. Las cosas vivientes avanzan por medio de dos mecanismos: mutación y selección natural. Actualmente se están produciendo por mutación nuevas especies. De manera similar, un cambio mayor en el diseño de un producto (de turbinas recíprocas a turbinas a gas) o trans-

formaciones fundamentales en un proceso de fabricación (de manual a robótica) constituyen una mutación. Considerando que las variaciones naturales ocurren espontáneamente en la industria, las variantes necesitan ser introducidas a través de cambios en los niveles de los factores. La consecuencia es un proceso de selección natural en el que las combinaciones no prometedoras de los niveles de los factores son despreciadas en favor de las prometedoras. Esta es la esencia de la EVOP.

Básicamente el tipo de experimento EVOP convoca a reemplazar la operación en línea convencional de un proceso, especialmente fijando valores predeterminados para los parámetros significativos para la operación de los procesos y mantener el proceso en control estadístico.

Esto requiere que se hagan pequeños cambios (perturbaciones) en los niveles de los factores, evaluar el efecto y luego en for-

ma progresiva se van haciendo ajustes para mejorar el desempeño. La EVOP es una técnica para uso rutinario en los procesos industriales. Un tipo de diseño popular de EVOP, es la EVOP Box (debido a Box), se muestra en la Figura 5. El diseño de las combinaciones básicas de los dos factores, A y B, para la maximización del experimento se muestran en la Figura 5, son las esquinas de un cuadrado con el agregado de un punto central que representa a los valores nominales.

Supongamos que se desea mejorar el rendimiento de un proceso discontinuo (en batch). Hay dos parámetros A y B del proceso y son los que tienen la mayor influencia sobre el rendimiento. Rutinariamente el proceso se realiza bajo condiciones de operación fijas, consideradas estándar. Ambos parámetros del proceso se fijan habitualmente en sus valores nominales para dar un rendimiento del proceso del 68% como se muestra en la Figura 5.

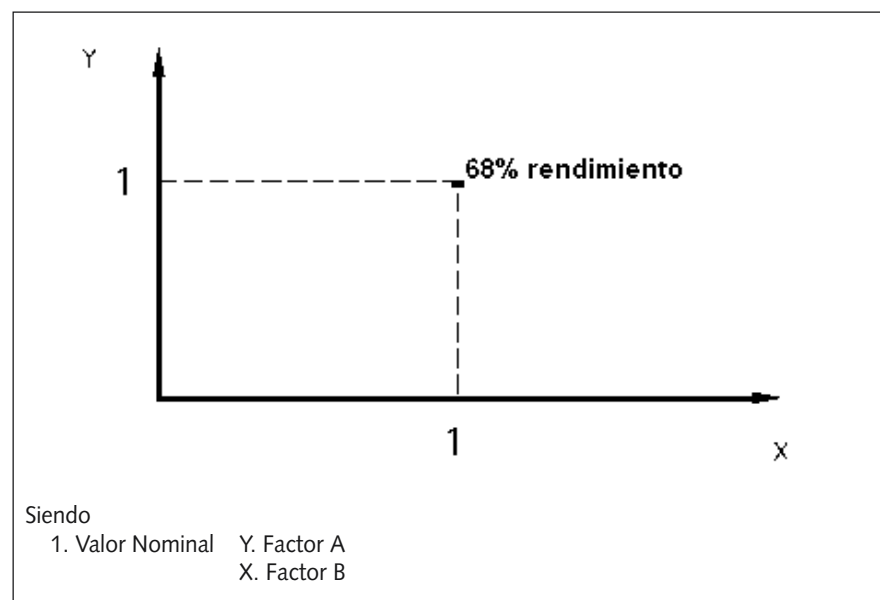


Figura 5: Factores A y B fijados en el valor nominal para dar 68% para el rendimiento del proceso

La Figura 6 muestra la primera etapa de un proceso de optimización usando la EVOP Box. Los factores A y B se alteran o cambian simultáneamente a un diseño factorial

simple predeterminado. Tomando un diseño de dos factores representado por las esquinas de un cuadrado junto con el punto central. Aplicando estos diseños a la pro-

ducción debe tenerse en cuenta que las corridas deben repetirse en cada una de las combinaciones experimentales de acuerdo a una metodología estadística que permite ensayar las diferencias significativas entre los resultados alcanzados.

Esta metodología indica cuando tomar una decisión para evaluar una iteración particular o el curso de acción preferido,, para continuar en una dirección elegida o para detenerse porque se alcanzó un óptimo.

Los rendimientos promedio bajo la iteración de la primera etapa se muestran en la figura 6.

En esta figura se muestra una mejora estadísticamente importante del 72% en la esquina inferior derecha. Esto indica la mejor dirección para seguir probando más con otra iteración para una segunda etapa.

Este proceso continua hasta que el rendimiento en el punto central sea lo suficientemente más alto que en las esquinas, su se logra que en esta etapa se va a indicar como un óptimo local, como se muestra en la figura 7.

En este caso se ve que la mejora en el rendimiento del proceso es sustancial, pasando del 68% al 79%.

Sin embargo, deben considerarse las consecuencias de una posible degradación de tipo temporaria del proceso durante la experimentación. Tales riesgos están contenidos dentro de la EVOP haciendo alteraciones en el proceso, en pasos pequeños, hasta un nivel operativo óptimo.

Para el diseño EVOP Box hay alternativas disponibles, tales como el EVOP Simplex (debido a Spendley). Un "simplex" es la figura geométrica más elemental. La configuración experimental EVOP Simplex es para:

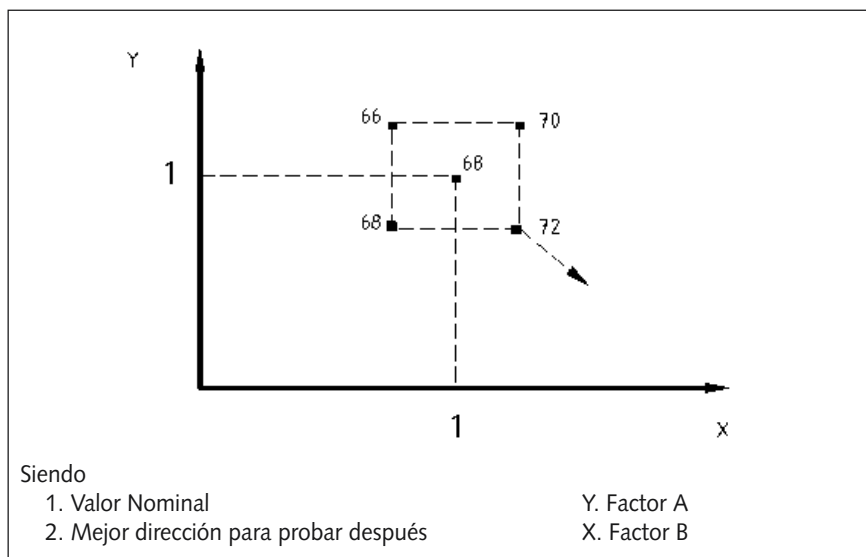


Figura 6: Primera etapa de la optimización usando la EVOP Box

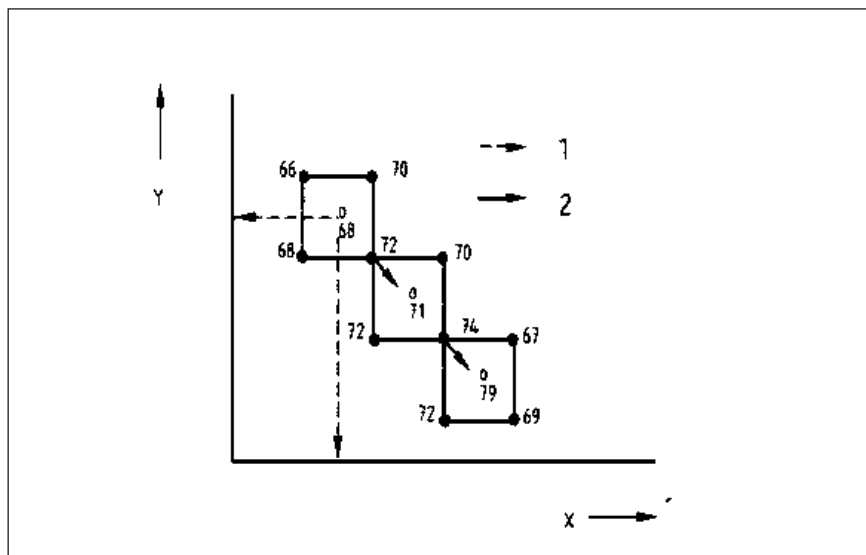


Figura 7

- a. diseños para dos factores es un triángulo equilátero;
- b. diseños para tres factores es un tetraedro regular.

Después de cada corrida (con las repeticiones necesarias) el punto que en el simplex exhibe la respuesta más pobre es reemplazado por su reflexión. Esto forma un simplex nuevo.

Además con la EVOP Simplex, después de la primera iteración con tres puntos experimentales, solo se requiere un punto experimental adicional para cada corrida subsiguiente. La EVOP Box es la más sensible y simple para aplicar. Esta tiene un merito considerable en una situación de producción.

Ejemplo

Un ejemplo de maximización de un EVOP Simplex con dos factores se muestra en la Figura 8.

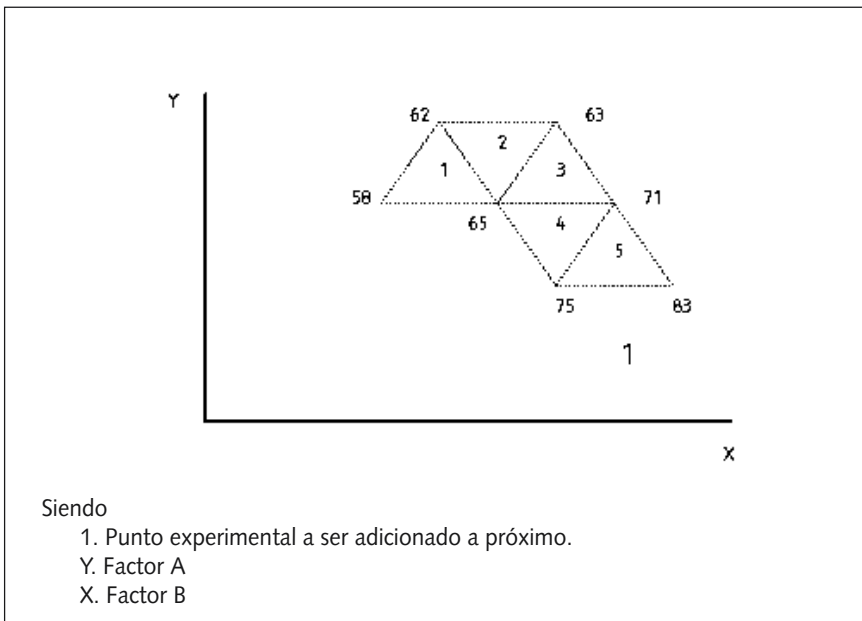


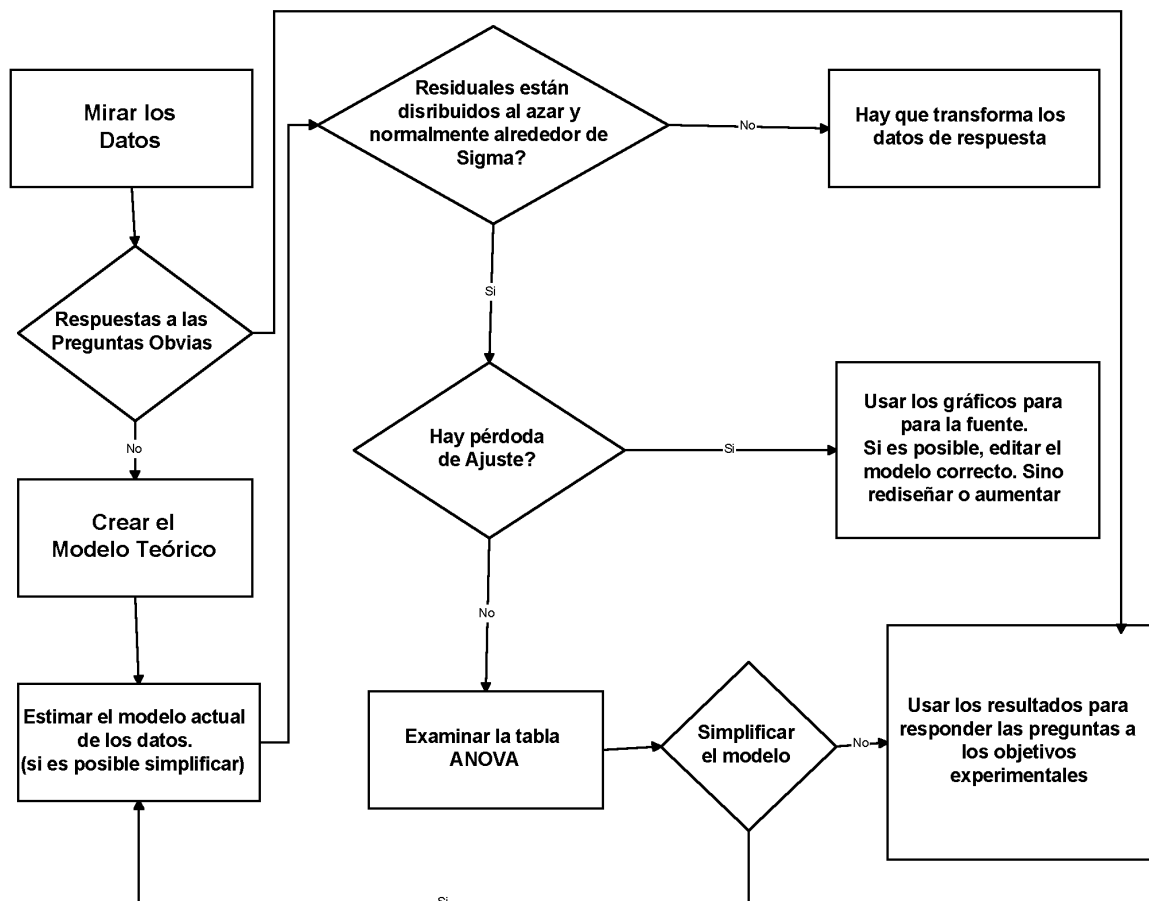
Figura 8: Experimento en términos de rendimiento para una maximización simples en 5 etapas y para dos factores.

En la figura se puede ver el primer grupo de corridas experimentales con factores A y B, colocados en los vértices de los dos factores simplex (un triángulo equilátero) marcado 1. La primera corrida da rendimientos de 58%, 62% y 65% como se muestra en el vértice apropiado.

La segunda corrida se hace a un vértice formado por la reflexión del vértice que dio la peor respuesta en las corridas previas. El vértice así formado, en el nuevo simplex (marcado 2), crea un nuevo par de valores para los factores A y B a ser investigados. Esta corrida da un rendimiento del 63%.

De la misma manera, una tercer corrida da un rendimiento del 71% y una quinta corrida da 83% y así se continua.

Cuales son los pasos en un análisis para el Diseño de Experimentos.  
 Diagrama de Flujo con los Pasos para el Diseño de Experimentos





# Una práctica sencilla para la determinación experimental del $\Delta H$ de la reacción de descomposición del agua oxigenada

Julián Duarte, María Teresa Silva, Anita Zalts y Javier Montserrat\*

## INTRODUCCIÓN

La Universidad Nacional de General Sarmiento (UNGS), tiene estructurada su enseñanza en un sistema por ciclos. En este diseño, en el Primer Ciclo Universitario se dictan dos cursos semestrales de química, que están dirigidos a proporcionar una formación básica y general en química a estudiantes de carreras no-químicas (Ingeniería Industrial, Profesorado de Matemática, Profesorado de Física, Licenciatura en Ecología Urbana y Licenciatura en Urbanismo). Desde el punto de vista de la enseñanza de la química, se optó por implementar una modalidad de trabajo integrada (teoría-problemas-laboratorio) haciendo hincapié en el desarrollo de ejes conceptuales comunes que atraviesan las diferentes asignaturas [1].

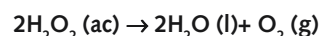
\* Area de Química, Instituto de Ciencias, Universidad Nacional de General Sarmiento J. M. Gutiérrez 1150 (B1613GSX), Los Polvorines, Provincia de Buenos Aires, Argentina.  
E-mail: [jmontser@ungs.edu.ar](mailto:jmontser@ungs.edu.ar)

En lo que se refiere al desarrollo de los contenidos, el primero de estos cursos está enfocado fundamentalmente a los aspectos básicos de la química general (estructura de la materia y reacciones químicas) y constituye para la inmensa mayoría de los alumnos el primer acercamiento a esta disciplina. Es en este contexto que el empleo de una estrategia teórico-práctica integrada se torna indispensable para el desarrollo de un proceso de aprendizaje eficaz.

Uno de los conceptos termoquímicos fundamentales asociados al cambio químico es el de función de estado [2]. Este concepto habitualmente asociado al  $\Delta H$ ,  $\Delta S$  y  $\Delta G$  de reacción permiten enfatizar la idea de que una reacción química es un proceso, que puede ser complejo en términos de la explicación de la ruptura y formación de enlaces, pero cuyos estados final e inicial son independientes de este hecho. Habitualmente estos conceptos son discutidos antes que los de cinética química, por lo que

la idea de mecanismo de reacción todavía no es natural para los alumnos.

Para contextualizar experimentalmente el concepto de función de estado se decidió desarrollar una actividad de laboratorio de carácter demostrativo, de muy rápida realización (20 minutos) y que permitiera no sólo ilustrar los conceptos antes mencionados sino también articularlos con las ideas fundamentales de cinética química. El sistema elegido fue la reacción de descomposición de  $\text{H}_2\text{O}_2(\text{ac})$  usando diferentes catalizadores.



La descomposición del  $\text{H}_2\text{O}_2$  es un proceso termodinámicamente espontáneo ( $\Delta G_{\text{reac}} < 0$ ) y exotérmico ( $\Delta H_{\text{reac}} < 0$ ) pero que no se observa en tiempos razonables, es decir tiene una cinética muy lenta, lo que permite explicar la existencia de soluciones acuosas comerciales de  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Por esta razón, resulta imprescindible el uso de catalizadores para

poder estudiar dicha reacción. En esta propuesta se utilizarán dos catalizadores de naturaleza muy diversa KI(ac) [3] y levadura de cerveza [4] de forma de plausibilizar la idea de que en ambos casos los procesos de formación y ruptura de enlaces son diferentes. El comportamiento catalítico del KI está asociado a un mecanismo de óxido-reducción en dos pasos (ver Mecanismo, en Figura 1), donde en una primera etapa lenta se reduce el agua oxigenada a agua, y el yoduro se oxida a hipoyodito; y donde en una segunda etapa rápida el agua oxigenada se oxida a agua, y el hipoyodito se reduce a yoduro.

Este mecanismo puede generalizarse para cualquier catalizador redox que tenga dos estados de oxidación accesibles en solución acuosa: catalizador reducido (Cat. Red.) y catalizador oxidado (Cat. Ox.), como se representa en la Figura 1. La condición que es necesaria en este punto para el funcionamiento del catalizador es que los correspondientes potenciales de reducción del catalizador (por ej. el  $E^{\circ}IO^-/I^-$ ) permitan que cada una de las etapas tengan diferencias de potencial ( $DE_1$  y  $DE_2$ , Figura 1) mayores que cero. Es interesante recordar que estas diferencias de potencial de reacción ( $DE_{reacc}$ ) son un criterio termodinámico de espontaneidad utilizado para las reacciones de óxido-reducción en solución acuosa [5], y que la espontaneidad de la reacción en la dirección planteada está asociada a un valor positivo de ese  $DE_{reacc}$ . Este valor también es una función de estado, sólo depende del tipo de reactivos y productos y sus respectivos valores de concentración [5] y es útil porque no sólo está asociado a la capacidad de predecir la espontaneidad de la reacción, sino también porque permite la determinación de la cantidad de trabajo eléctrico que la reacción puede hacer.

Lo importante es enfatizar aquí que la cantidad de calor intercambiado a presión constante por la reacción (variación entálpica ó

#### Mecanismo:

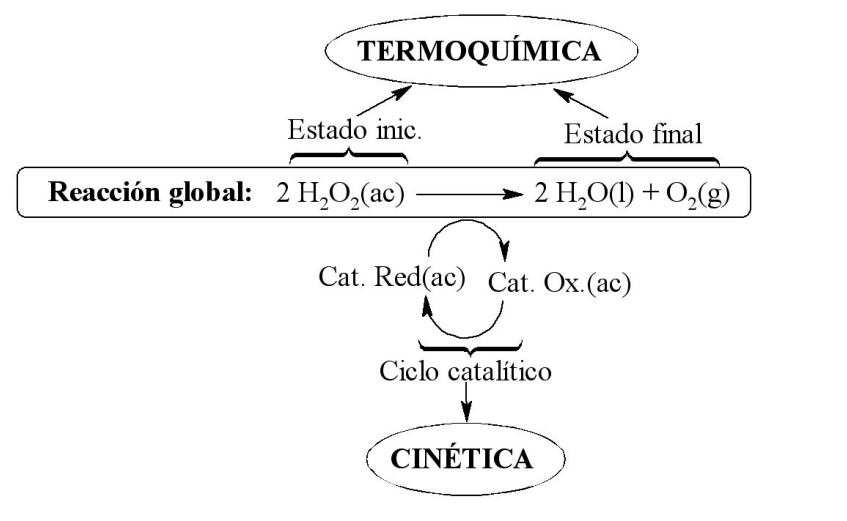
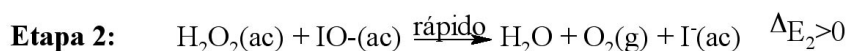


Figura 1. Mecanismo de reacción propuesto para el KI.

DH reacción) sólo va a depender del estado inicial (reactivos) y el final (productos), y por lo tanto, puede asociarse a funciones termodinámicas de estado. La velocidad a la cual ocurrirá el proceso, por el contrario, sí dependerá del catalizador particular utilizado; pero estas variaciones de los parámetros cinéticos no afectarán a los estados inicial y final del sistema.

En el caso de la levadura, la acción catalítica es ejercida por una enzima denominada catalasa (EC 1.11.1.6), cuya función es detoxificar al organismo de formas reactivas de oxígeno que podrían producir daño celular.

#### DISCUSIÓN

Para llevar adelante las mediciones se preparó artesanalmente un calorímetro con materiales de bajo costo. Un erlenmeyer de 125 ml fue recubierto con espuma aislante de poliuretano de origen comercial y se introdujo en un recipiente de telgopor. Todo el sistema fue forrado con papel de alumi-

nio para mejorar su presentación. La parte superior del erlenmeyer se conectó a un tapón de goma que estaba atravesado por un tubo de vidrio cerrado en la base, un tubo de vidrio abierto y un tip de 500 ml para micropipetas. El tubo de vidrio cerrado, que pesca en la solución contenida en el erlenmeyer, se llenó con glicerina como fluido de contacto térmico y dentro de ésta se alojó el sensor de una termocupla. Al tip se le adaptó una jeringa de plástico de 10 mL y el tubo restante se conectó a una cánula. Las conexiones al tapón fueron selladas con un sellador siliconado. Por otro lado la cánula de salida fue conectada a una probeta de 2000 ml invertida (ver foto 1). Todo el dispositivo fue colocado sobre un agitador magnético. Dentro del erlenmeyer se ubicó la solución de  $H_2O_2$  (en general se trabajó con 100 ml de  $H_2O_2(ac)$  2 M) y una barrita magnética. El experimento se inicia con el agregado del catalizador a través de la jeringa; en general se usaron 5 ml de solución de catalizador (suspensión en el caso de las levaduras), donde la concentración de catalizador se ajustó para completar la reacción en el tiempo deseado. En el caso

de la modalidad demostrativa el calorímetro se conectó a una computadora vía una salida RS232 y los datos se adquirieron y procesaron con el programa CR-PC para construir y mostrar en la pantalla de la PC en tiempo real las curvas de Temperatura vs. tiempo.

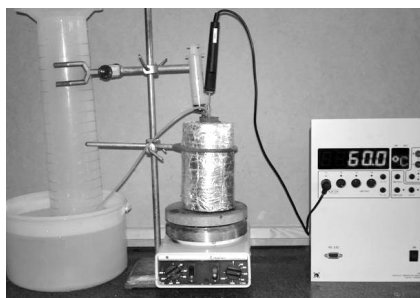


Foto 1. Calorímetro, bureta invertida y termocupla utilizadas.

Se hizo entonces un registro de los datos de Temperatura vs. tiempo desde el momento de la inyección de catalizador (t=0) hasta que no se observaron más burbujas. Se registró también el volumen total de O<sub>2</sub>(g) desprendido, medido utilizando una bureta invertida (ver foto1).

La Figura 2 muestra los resultados obtenidos para la reacción de descomposición del agua oxigenada utilizando como catalizadores KI y levadura y una curva de enfriamiento para estimar la disipación térmica del calorímetro.

Es interesante señalar que por ser el cambio de entalpía una función de estado, los valores de variación de la temperatura resultaron similares para los dos catalizadores utilizados para la misma escala temporal. Para corregir la no idealidad del calorímetro y dado que existe un problema dinámico de pérdida térmica del sistema hacia el entorno, se realizaron curvas de enfriamiento, cargando el calorímetro con una cantidad de H<sub>2</sub>O igual a la masa total utilizada en el experimento a una temperatura inicial igual a la temperatura final alcanzada durante la descomposición de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (Curva de disipa-

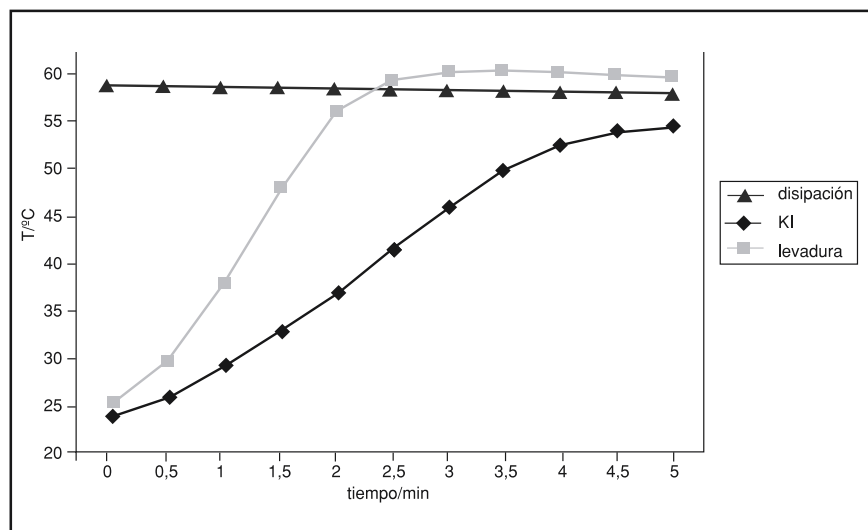


Figura 2. Curvas de calentamiento y enfriamiento del experimento.

ción, Figura 2). El sistema se dejó enfriar y se determinó la temperatura al tiempo correspondiente al punto final del experimento con agua oxigenada. Se determinó el DT y se sumó esa diferencia a la temperatura máxima alcanzada durante el calentamiento.

De esta forma se pudieron obtener las variaciones de temperatura para el tiempo de cada uno de los experimentos, corregidas teniendo en cuenta la capacidad calorífica del calorímetro. Entonces, con los valores de masa de solución (suma de la masa de la solución de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y del catalizador) y haciendo la aproximación que el calor específico de la solución es igual al calor específico del agua (4,184 J/g.°C) [6] y el DT corregido, utilizando la ecuación general de la calorimetría ( $Q = \text{masa} \times C_{\text{esp}} \times \text{DT}$ ), se calcularon los  $DH_{\text{reac}}$  que se indican en la Tabla 1.

Si bien los valores de entalpía de la reacción obtenidos experimentalmente guardan un buen acuerdo entre sí (Tabla 1), puede observarse una diferencia respecto del valor calculado a partir de valores tabulados (-98.05 kJ/mol) [7]. Esta diferencia puede originarse en el hecho de que el sistema no está completamente aislado sino que hay un volumen de oxígeno molecular no despreciable que está disipando calor en la bureta invertida.

Otro dato interesante es el del volumen de O<sub>2</sub>(g) desprendido: independientemente del catalizador utilizado, resulta similar en ambos casos (Tabla 1) y muy cercano al valor teórico esperado; la diferencia podría explicarse tal vez asociada a la incertidumbre en la concentración de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>(ac), ya que la misma no fue valorada sino que se asumió el

Tabla 1. Valores experimentales de DH de reacción

Catalizador	$\Delta T$ (°C)	$\Delta H$ (KJ/mol)	$V_{O_2} \text{ obtenido} / V_{O_2} \text{ teórico}$
KI	34,3	-75,9	0,90
Levadura	30,3	-78,4	0,85

título comercial. Esto indica que se logra el mismo grado de avance de la reacción, que en este caso es prácticamente cuantitativa, como puede comprobarse a partir del volumen teórico esperado.

### CONCLUSIONES

La práctica propuesta es aplicable a un curso inicial de química general en donde habitualmente es difícil introducir el concepto de función de estado.

Pese a la simplicidad del dispositivo experimental, los resultados tienen un buen acuerdo con los valores esperados.

La utilización de dos catalizadores diferentes destaca el  $DH_{\text{reac}}$  como función de estado, y por otra parte, permite generar una estrategia para introducir más naturalmen-

te el concepto de mecanismo de reacción cuando se estudie cinética química.

La determinación del volumen de  $O_2$  desprendido permite verificar que se alcanza el mismo grado de reacción, a la vez que es una herramienta útil para inducir una discusión sobre cómo podría medirse la velocidad de la reacción.

### AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Secretaría de Investigación de la UNGS por la financiación para asistir a las VII Jornadas de Enseñanza de la Química. J. Duarte y M. T. Silva son becarios alumnos de la UNGS

### REFERENCIAS

[1] F. Cukiernik, J. Montserrat, A. Zalts, S. Ramirez, D. Vullo, E. Hughes, H. Ceretti,

E. Reciulschi. Diseño y estructuración de la enseñanza en una disciplina troncal: criterios orientadores y estrategia pedagógica. *Enseñar y aprender en la universidad*. Coedición de Ediciones Al Margen y la Universidad Nacional de General Sarmiento. Buenos Aires, **2003**, pág. 317.

[2] Ver por ejemplo: a) R. Chang, *Química*, 4a. Edición, Mc Graw-Hill, Méjico, 1997, pág. 240; b) T. Brown, H. LeMay, B. Bursten, *Química. La Ciencia central*. 7a Edición. Pearson Educación, Méjico, **1998**, pág. 150.

[3] R. Chang, *Química*, 4a. Edición, Mc Graw-Hill, Méjico, **1997**, pág. 569.

[4] M. Madigan, J. Martinko, J. Parker, Brock, *Biología de los microorganismos*. Pearson-Prentice Hall. España, **2004**, pág. 164.

[5] T. Brown, H. LeMay, B. Bursten, *Química. La Ciencia central*. 7a Edición. Pearson Educación, Méjico, **1998**, pág. 723.

[6] T. Brown, H. LeMay, B. Bursten, *Química. La Ciencia central*. 7a Edición. Pearson Educación, Méjico, **1998**, pág. 158.

[7] Ch. J. Mazzaco, *J. Chem. Ed.* **1999**, *76*, 1517-1518.

# El huevo: una propuesta integradora para el museo interactivo de ciencia, tecnología y sociedad *imaginario*

Luciana Galván<sup>1</sup>, Helena Ceretti<sup>2</sup> y Anita Zalts<sup>2</sup>

## INTRODUCCIÓN

El Museo Interactivo de Ciencia, Tecnología y Sociedad *Imaginario* se ubica entre uno de los emprendimientos destacados que ha encarado la Universidad Nacional de General Sarmiento (U.N.G.S.) con el objeto de establecer fuertes lazos con la comunidad, incentivando su acercamiento al conocimiento científico a través de la experimentación y brindando nuevos recursos para aprender y reflexionar sobre los fenómenos naturales y sociales en un ámbito ameno e interesante. Es un museo que se basa en la interacción como herramienta central para la transmisión del saber y la generación de inquietudes: el visitante es quien experimenta con la realidad y es a partir de esa experimentación que surgen los cuestionamientos, inquietudes y preguntas que alimentan el interés por la ciencia y el conocimiento en general. *Imaginario* cuenta

con la participación y trabajo de profesores, personal y estudiantes de la U.N.G.S. Entre otras actividades, en el Museo se realizan talleres que están a cargo de estudiantes de la U.N.G.S., quienes actúan también como guías-animadores en las visitas, ya sea dirigidas a escuelas o público en general.

## UN EJE INTEGRADOR PARA TRABAJAR DENTRO DEL MUSEO: EL HUEVO DE GALLINA

Para contribuir con el desarrollo de los objetivos del Museo, se trabajó en el diseño de una serie de actividades para ser realizadas en el marco de los talleres, con la clara intención de que muchas de ellas fueran adaptables a grupos de estudiantes pertenecientes a diversos niveles educativos y que puedan reproducirse en las aulas de las escuelas.

El aspecto novedoso de esta propuesta consiste en la selección de un eje central integrador, el *huevo de gallina*, que es utilizado como disparador para llevar a cabo experiencias de taller, permitiendo miradas y abordajes desde diferentes áreas del conocimiento. Considerar al huevo de gallina

como eje temático presenta numerosas ventajas. Desde el punto de vista de la implementación de las experiencias, el huevo reúne las siguientes características: es un producto de uso cotidiano conocido por todos los participantes, es un material fácil de conseguir y de bajo costo, su manipulación no implica riesgos para la salud, el descarte y disposición de residuos generados puede efectuarse con el mismo procedimiento que se aplica a los residuos domiciliarios. Desde lo conceptual, empleado como *nexo* de contenidos didácticos y actividades, permite un abordaje desde disciplinas o áreas del conocimiento muy diferentes: las ciencias naturales (química, física y biología), la salud (en particular en temas asociados a la nutrición), la matemática, la historia y la etnografía, el arte (destacándose la pintura) y la tecnología (aplicada en el procesamiento de los alimentos y en la producción de huevos). En síntesis, en esta propuesta se presenta al *huevo de gallina como eje temático integrador multidisciplinar*, que incluye aspectos químicos de una serie de actividades o desafíos propuestos a estudiantes de diversos niveles educativos, ejemplificando con algunas de ellas, tal como se señala en la Figura 1.

1 Museo Interactivo de Ciencia, Tecnología y Sociedad *Imaginario*, Roca 850, San Miguel, Provincia de Buenos Aires.

2 Área Química, Instituto de Ciencias, Universidad Nacional de General Sarmiento, J.M. Gutiérrez 1150, Los Polvorines, Provincia de Buenos Aires

E-mail: [azalts@ungs.edu.ar](mailto:azalts@ungs.edu.ar)

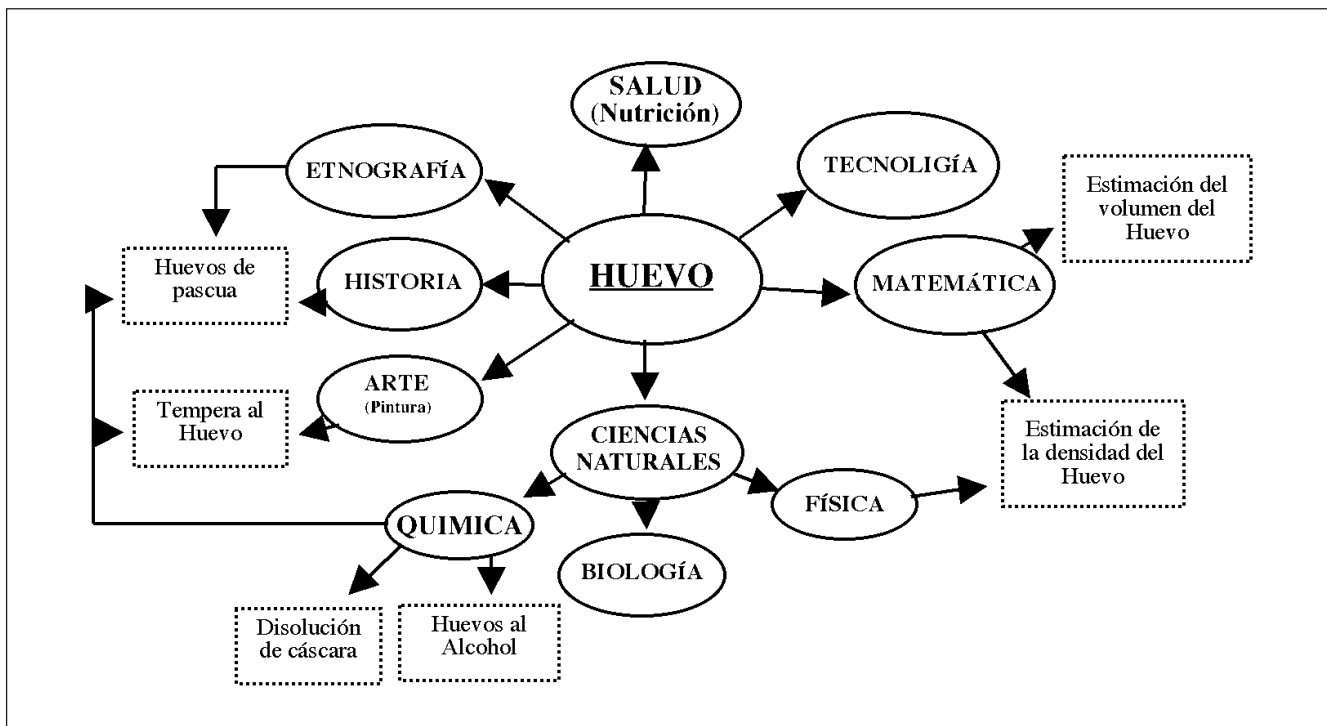


Figura 1: El huevo como eje temático

## ACTIVIDADES EXPERIMENTALES

### Desafío 1:

¿Cuál es el volumen de un huevo?

Se proponen dos métodos diferentes para estimar el volumen de un huevo: un método de aproximación geométrica y otro físico aplicando el principio de Arquímedes.

En el método geométrico se emplean los

cálculos de volúmenes de cuerpos regulares sencillos (esfera, cilindro, combinaciones de ambos), conocidos por los estudiantes, para estimar el volumen del huevo (1). Para aplicar esta aproximación deben medirse algunos parámetros físicos de un huevo como por ejemplo el diámetro mayor y menor del mismo. La Figura 2 muestra la superposición del perfil del huevo (zona blanca) sobre algunas figuras geométricas.

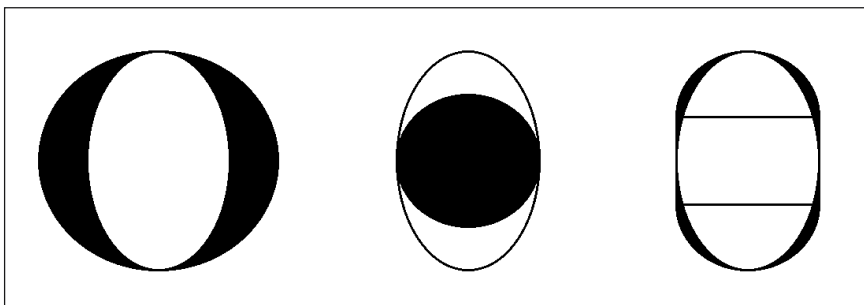


Figura 2: Comparación del perfil del huevo con cuerpos geométricos

Otra forma de resolver el problema es aplicando el principio de Arquímedes: se mide el desplazamiento de un fluido (agua) en un recipiente graduado (probeta) que se genera al introducir el huevo en él.

Si se emplean muestras diferentes es posible obtener una gran cantidad de datos en poco tiempo (surge de la simple observación visual que el tamaño de los huevos de gallina no es siempre el mismo), por lo que

la experiencia resulta muy adecuada para introducir el análisis estadístico de datos, estimando el valor medio y la desviación estándar y permitiendo discutir y ejemplificar estos conceptos.

### Desafío 2:

¿Cuál es el peso específico del huevo?

Una derivación natural de la estimación del volumen del huevo es la determinación de su peso específico, sobre todo si este problema se presenta a continuación de la estimación del volumen. La obtención de la masa surge como necesidad una vez que se define el concepto de densidad (aplicable a sistemas homogéneos como ser una solución), o de peso específico (parámetro a determinar cuando se trabaja con huevos ya que se trata de sistemas heterogéneos). También en este caso es interesante el análisis estadístico de los resultados y la discusión en el taller sobre cuál de las etapas de medición es la que introduce la mayor incertidumbre. Si el grupo de estudiantes se

divide en equipos y cada equipo repite varias veces la determinación de masa y volumen de un huevo en particular, luego se pueden discutir los resultados de las mediciones dentro de cada grupo (reproducibilidad) y entre grupos. Comparando los resultados obtenidos por varios grupos, puede ser interesante decidir si las propiedades de los huevos considerados difieren significativamente entre sí, o si se trata de los mismos valores dentro del error experimental (2).

Una variante de mayor nivel de complejidad consiste en proponer a los estudiantes que diseñen un método experimental para determinar el peso específico de un huevo. El diseño de un procedimiento experimental puede plantear cuestionamientos interesantes como por ejemplo ¿será el peso específico de un huevo crudo igual o diferente al de un huevo cocido? Como paso previo puede proponerse diseñar una experiencia para determinar la densidad de un fluido (agua por ejemplo), donde la medición del volumen resulta más sencilla.

Para contestar la pregunta: ¿un huevo de gallina flota o se hunde en un líquido dado? se propone hacer la verificación experimental. Esta actividad permite comparar el peso específico del huevo con la densidad de un fluido (agua, aceite, alcohol etílico, agua con determinada cantidad de sal de mesa disuelta, etc.) (3). Además permite discutir la consistencia del valor de peso específico medido para el huevo con respecto a sus propiedades de flotación.

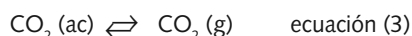
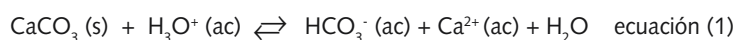
#### Desafío 3: Desnaturalizando proteínas

La desnaturalización de las proteínas de la clara de huevo se puede lograr por diversos métodos: por acción mecánica, al batir para obtener merengues; elevando la temperatura, al hacer un huevo duro o frito; o por acción del alcohol etílico. Todas estas situa-

ciones son muy adecuadas para la experimentación. Por ejemplo, es interesante estudiar la estabilidad de las claras batidas a nieve bajo diferentes condiciones (variar el tiempo de batido, investigar el efecto de la presencia de sal o de cremor tártaro, etc.) (4) o "cocinando" huevos a temperatura ambiente: se agrega una porción de alcohol a la clara de un huevo, con lo que se observa su coagulación sin necesidad de calentar. La interpretación de los resultados puede presentarse tanto desde el punto de vista de la química, como desde la tecnología involucrada en la preparación de alimentos.

#### Desafío 4: Cáscaras de huevo

La cáscara del huevo está constituida fundamentalmente por carbonato de calcio. Por lo tanto, el agregado de ácidos sobre las cáscaras producirá una serie de reacciones descritas según las ecuaciones 1 a 3:



Después de sumergir las cáscaras en una solución acuosa diluida de ácido clorhídrico o de vinagre, se observará el desprendimiento de burbujas de  $\text{CO}_2$ . Es posible disolver completamente la cáscara, aunque cabe aclarar que este proceso puede demorar varias horas e incluso días, dependiendo del ácido que se use y de su concentración.

Sin embargo las cáscaras de huevo poseen otras características que a veces pueden pasar desapercibidas: éstas son porosas, ya que deben permitir el intercambio gaseoso durante el proceso de incubación del huevo. Si se sumerge un huevo en agua (previamente hervida y enfriada para eliminar los gases disueltos) y se lleva al fuego, a medida que la

temperatura del agua suba, se observará la formación de pequeñas burbujas sobre la superficie del huevo. En este caso las burbujas se deben a la salida de los gases desde el interior del huevo, como consecuencia del aumento de la presión interna generada por el incremento de la temperatura.

#### Desafío 5: Huevos de Pascua (5)

El huevo es tal vez el símbolo más antiguo y universal del nacimiento, el origen de la vida y la fertilidad. Por lo tanto, la ornamentación ritual de los huevos en muchas culturas en general aparece asociada a festividades relacionadas con la primavera. Mucho antes de la era cristiana, los egipcios y los persas teñían huevos con colores alegres y durante el equinoccio de primavera los regalaban como símbolo de vida. Hay evidencias de que en China se decoraban huevos al menos unos 900 años A.C.. El simbolismo está muy arraigado en algunas culturas asiáti-

cas, por ejemplo la tibetana, donde existen mitos que hacen referencia al origen de la Tierra y de los hombres a partir de un huevo gigante (6).

La costumbre de preparar y regalar huevos de Pascua de colores se manifestó particularmente en los pueblos del norte de Europa y Asia, mucho antes de su conversión al cristianismo. El uso de estos huevos, con su poder de crear nueva vida y de ser símbolo de la fertilidad en los cultos paganos, probablemente se haya originado en la observación de los huevos de color que ponían las aves migratorias que llegaban en primavera, provenientes de climas más cálidos, señalando el comienzo de esta estación.

La yema del huevo se asocia al sol. Una leyenda ucraniana cuenta que los pájaros son las criaturas favoritas de los dioses del sol debido a que sólo ellos pueden recorrer el cielo. Los hombres, siendo meros mortales, no pueden volar, pero pueden recolectar huevos. Además, del huevo nace el pollito que puede devenir en gallo, con el poder de despertar al sol cada mañana.

En tiempos cristianos, la simbología del huevo adquirió una interpretación religiosa y algunos ritos paganos fueron incorporados al cristianismo: el huevo se transformó en símbolo de la Resurrección. En muchos lugares los huevos se teñían directamente con productos vegetales locales, como por ejemplo cáscaras de cebolla, pétalos de flores, hojas verdes, etc.

*¿Será el carbonato de calcio el único componente de la cáscara del huevo?*

Si se comparan los resultados de la tinción de un trozo de mármol ( $\text{CaCO}_3$ ) y de la cáscara de huevo empleando algún colorante natural o sintético, se observa que el pigmento se adhiere muy poco al mármol dando una coloración muy tenue, mientras que el huevo se tiñe más intensamente. A su vez, si se compara la tinción de la cáscara de huevo tratada previamente con una solución al 5% de EDTA con la tinción de cáscara de huevo no tratada, se observa que la primera se tiñe considerablemente menos.

Estas experiencias ponen de manifiesto que además del carbonato de calcio, hay algún componente en la cáscara de huevo que interactúa con el pigmento de la tinción. Dicho componente es removido en el tratamiento con EDTA. Efectivamente, la cáscara de huevo está constituida en un 95% por calcita, forma cristalina más común del  $\text{CaCO}_3$ , dispersa en una matriz proteica. A su vez la superficie de la cáscara de huevo está recubierta por una delgada membrana

de proteínas llamada cutícula. Esta membrana interactúa con el pigmento haciendo posible una tinción mucho más intensa de los huevos (7).

*Desafío 6: Témperas al huevo (8)*

La ténpera al huevo es reconocida como una de las técnicas más antiguas empleadas en pintura, conocida por los antiguos egipcios y los griegos y perfeccionada por los pintores de íconos en los últimos 100 años del imperio Bizantino (400-1200 A.C.). Esta ténpera se caracteriza por su excelente conservación. Posteriormente, el uso de la ténpera al huevo se retomó en el Renacimiento. En este período, el financiamiento de costosas obras de arte por los mecenas, permitió a los artistas la exploración de nuevas técnicas y la inclusión de materiales más costosos en la preparación de las pinturas que empleaban. Los artistas molían y mezclaban los pigmentos con agua y con pequeñas cantidades de yema de huevo, cuyas proteínas naturales poseen propiedades adhesivas. Las témperas al huevo son permanentes, no oscurecen con el tiempo y los colores son brillantes. Entre las limitaciones a su uso se encuentra que éstas en general requieren un soporte rígido y se secan rápidamente, por lo que no resultan adecuadas para cubrir grandes áreas. La ejecución de las obras exige un avance lento y planificado desde un principio.

El simbolismo del huevo también tuvo su importancia en el arte, pues la idea de una nueva vida y de la Resurrección de Cristo fueron aspectos fundamentales en el arte sacro del Renacimiento. Giotto fue uno de los grandes maestros italianos que se destacó en el empleo de la ténpera al huevo, como queda demostrado en la exquisitez de su obra en la Capilla Arena, en Padua (Italia). En el siglo XVI el surgimiento de la pintura al aceite (óleos) hizo que la mayoría de los artistas se inclinaran por esta novedosa técnica. Sin embargo los pintores

de íconos religiosos de la Iglesia Ortodoxa han mantenido hasta la actualidad el empleo de la ténpera al huevo. El interés por esta técnica resurgió a comienzos del siglo XIX con la publicación de la obra *El libro del Arte de Cenino Cennini*, un manual de técnicas pictóricas del siglo XIV. Hasta alrededor de 1940, las témperas más empleadas fueron las elaboradas tradicionalmente en base a yema de huevo, en general diluidas con agua. En la actualidad se emplean témperas que contienen polímeros sintéticos en vez de yema de huevo y cuyas características se acercan a las ideales para una pintura.

Se pueden preparar témperas al huevo empleando diversos pigmentos (ferrites, cúrcuma, colorantes para alimentos, violeta cristal, dióxido de titanio, entre otros) y explorando diferentes proporciones pigmento – yema de huevo – agua en la formulación de la ténpera. También se puede pintar sobre diferentes soportes (papel, cartón, hojas para dibujo, madera, tela, el reverso de un azulejo, etc.) para ensayar el poder cubritivo de las témperas preparadas.

## CONCLUSIONES

La propuesta de trabajo aquí presentada pretende contribuir a que los participantes de los talleres del Museo *Imaginario* puedan construir y adquirir conocimientos, al mismo tiempo que se familiaricen con algunas características básicas del trabajo científico. Se busca crear un instrumento motivador, que ayude a despertar el interés de los estudiantes y contribuir a mejorar su actitud hacia la ciencia y su estudio, que es uno de los grandes problemas con que se encuentra hoy la educación (9). Para ello es importante conectar las actividades que realicen los estudiantes con problemas de la vida real, incluyendo aspectos que contextualicen más socialmente la enseñanza de las ciencias. Es de destacar la necesi-



dad de seleccionar criteriosamente y adecuar las actividades presentadas en estos desafíos al nivel educativo y a la edad de los estudiantes que participen de los talleres. Por otra parte, la mirada multidisciplinar coloca los experimentos propuestos en otra perspectiva, ya que en definitiva, considera la ciencia como parte de la cultura de nuestro tiempo.

#### NOTA

Para mayor información sobre las actividades del Museo de Ciencia, Tecnología y Sociedad *Imaginario*, consultar en [www.imaginario@ungs.edu.ar](mailto:www.imaginario@ungs.edu.ar) o telefónicamente al 4451-7925/ 7924. Horario de atención: lunes a viernes de 9.30 a 12 hs y de 14 a 16.30 hs, sábados de 15 a 18 hs.

#### REFERENCIAS

- [1] T.A. Newton; Measurement of eggs: a general chemistry experiment; *J. Chem. Educat.*, **67**, 604 (1990).
- [2] Miller J.C. y J.N. Miller, Estadística para Química Analítica, 2ª edición, Addison-Wesley Iberoamericana, 1993.
- [3] E.A. Hughes, H. Ceretti y A. Zalts; Floating plastics: an initial chemistry laboratory experience; *J. Chem. Educat.*, **78**, 522 (2001).
- [4] Bravo-Díaz, C. y E. González-Romero; Showing properties of food foams with common daily foods; *J. Chem. Educat.*, **74**, 1133 (1997).
- [5] Sobre huevos de pascua (páginas consultadas en mayo de 2006):  
<http://www.intermirifica.org/easter/eastsymbol.htm>,  
<http://www.uazone.net/holidays/EasterEggs.html>.
- [6] Mircea Eliade; Mito y realidad; Ed. Guadarrama/Punto Omega, Barcelona (1981).
- [7] R. C. Mebane y T. R. Ribot; Chemistry in the Dyeing of Eggs; *J. Chem. Educat.*, **64**, 291 (1987).
- [8] Sobre Témperas al huevo (páginas consultadas en mayo de 2006):  
Artistas:  
<http://www.tonywhitehouse.co.uk/gallery.php>,  
<http://petermurphyicons.com/Index.htm>;  
Técnica:  
<http://www.watercolorpainting.com/eggtempera.htm>,  
<http://www.realcolorwheel.com/eggtempera.htm>,  
<http://www.eggtempera.com/intro.html>.
- [8] J. Sobes y A. Vilches; La introducción de las relaciones Ciencia, Tecnología y Sociedad en la enseñanza de las ciencias y su evolución; *Educación Química*, **11**, 387 (2000).