

# OPTIMIZACION DE RECURSOS EDUCACIONALES. ORGANIZACION DE LABORATORIOS\*

GERARDO MANCILLAS\*\*

## INTRODUCCION

Por muchos años la oportunidad de tener una experiencia aceptable en el laboratorio durante el estudio de cualquier carrera se ha reducido -en el mejor de los casos- a tener esta experiencia solamente en un número mínimo indispensable para cada una de las carreras ofrecidas por cualquier facultad. Así tenemos, por ejemplo, que fuera de la facultad de Química, es difícil que otra facultad ofrezca los laboratorios de química; fuera de la facultad de Biología es difícil, también, ofrecer laboratorios a los estudiantes aun cuando los cursos en las otras facultades sean los mismos que en Biología. Peor todavía, existen facultades en las cuales ni en ellas mismas se ofrecen los laboratorios mínimos indispensables que su especialidad demanda; tal es el caso de las facultades de Física de la mayor parte del país.<sup>1</sup>

La razón fundamental de que esto ocurra es, sin duda alguna, la organización por facultades en lugar de departamentos. Esta desafortunada organización de las universidades -cuya existencia obedece a la tradición y fines políticos más que académicos- repercute no sólo en la falta de laboratorios esenciales en diferentes ramas de la ciencia y tecnología para la mayor parte de las facultades, sino también en desperdicios económicos y lo que es peor aún, en una falta de uniformidad en el nivel académico tanto inter como intrauniversitario.

Dado que es extremadamente improbable que las universidades que ahora existen en el país cambien a una organización departamental, quiero sugerir en este ensayo, una forma de organizar los laboratorios para evitar de manera substancial el desperdicio de recursos tanto físicos como humanos.

En las universidades del país, se ha tenido, tradicionalmente, la tendencia de seguir (al menos durante los primeros cuatro o cinco semestres) un plan de trabajo en los laboratorios, en el cual un buen número de estudiantes (más de cuatro) que componen una brigada, atienden el único experimento o práctica que se ofrece por sesión.<sup>2</sup> En estas sesiones existen usualmente uno, o a lo más dos equipos instrumentales iguales para ejecutarlo, y son atendidos por un instructor que describe (y a veces hasta ejecuta) el experimento en cuestión. Es decir, el laboratorio se convierte así en una demostración.

Para muchos de nosotros no es difícil recordar el gran número de estudiantes (aun en instituciones privadas) que componíamos una brigada de laboratorios. Entonces y ahora, es bastante frecuente tener un número de cinco estudiantes por brigada, y el máximo a veces llega a ser hasta tres veces ese número.

El resultado que se tiene con este tipo de organización es siempre el mismo: existen en cada brigada uno o dos estudiantes con más iniciativa que los demás (líderes naturales), que se encargan la mayor parte de las veces de ser ellos -y solamente ellos- de armar y ejecutar el experimento, mientras el resto se concreta simplemente a tomar nota del mismo.<sup>3</sup>

---

\*Este trabajo es parte de un proyecto de investigación sobre recursos educativos y su optimización.

\*\*Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas, Universidad Autónoma de Nuevo León.

<sup>1</sup>En "Aspectos de la Educación Superior en Física en México" de Alcántara et al (UNAM), las facultades de Física del país que ofrecen laboratorios durante los primeros cuatro semestres de la carrera son: UNAM, 2; U. A. de Puebla, 3; U. A. de San Luis Potosí, 3, Inst. Tec. y de Est. Sup. de Monterrey, 2; Inst. Politécnico Nacional, 4; U. Veracruzana, 3; U. de Sonora, 4; U. A. de Nuevo León, 3. La información descrita fue tomada, en parte, indirectamente y habría que distinguir entre lo que es laboratorio experimental y laboratorio: solución de problemas. En la Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas de la Universidad Autónoma de Nuevo León, por ejemplo, se refiere al último caso.

<sup>2</sup>En adelante, a no ser que se diga lo contrario, práctica y experimento son sinónimos; laboratorio se refiere al conjunto de prácticas y/o experimentos de un curso, por ejemplo. FI (mecánica), FII (ondas, calor y fluidos), FIII (electricidad y magnetismo), etc.

<sup>3</sup>La aparición de líderes naturales es, por supuesto, positiva. Sin embargo, su trascendencia no lo es tanto debido a que el resto de los estudiantes no le ayudan porque no saben lo que es trabajar en equipo. Otras veces simplemente el líder desprecia

Esta desafortunada organización puede deberse a varias razones: una es que las instituciones educativas (inclusive privadas) no pueden, o no quieren, comprar un número determinado de cada uno de los equipos que forman una práctica, que les permita reducir el número de estudiantes por brigada. Otra razón puede ser la manera en que las casas comerciales venden sus equipos, es decir, como partes individuales solamente y con la poca o casi nula posibilidad de asesoría académica.

Tal vez la razón principal de esta mala organización de los laboratorios consiste en que muchos educadores todavía piensan que el conocimiento experimental debe - necesariamente- seguir a la teoría. Quizá ellos piensan que es menos perjudicial que una brigada sea numerosa, mientras la práctica sea precedida por la teoría. Posiblemente este argumento tenga alguna validez a la luz de la organización de este sistema de laboratorios en el pasado, en el cual el instructor (usualmente un estudiante ligeramente más avanzado que los participantes de laboratorio) era la persona encargada de transmitir la teoría del experimento.<sup>4</sup> Finalmente, la razón puede muy bien ser que no se tenga un buen estudio que enseñe cómo planear de una manera óptima los laboratorios.

Cualquiera que sea la razón, el resultado final de este tipo de organización ha sido, fundamentalmente, el aprovechamiento de la sesión de laboratorios por sólo un reducido número de estudiantes.

## **EL NUEVO SISTEMA**

El tipo de organización y planeación que aquí sugiero se basa, específicamente, en dos aspectos: el económico y el académico. El primero no necesita discusión; es obvio que nuestras universidades, cualquiera de ellas, está y estará limitada siempre en recursos económicos. Se deben buscar, pues, soluciones económicamente factibles. El segundo aspecto obedece a la adopción de un sistema que permite con facilidad desligar la relación tan estrecha que existe, en la escala del tiempo, entre teoría y experimento.

Tradicionalmente, el instructor ha sido el núcleo de la sesión de laboratorios; en el caso que propongo, el núcleo lo compone un instructivo, la descripción completa de la práctica misma. Por esta razón, la práctica se debe escribir de una manera integral, pero siempre clara y simple. Si el estudiante no ha cubierto los aspectos teóricos en que se basa una práctica, este factor no debe ser de ninguna manera limitante. Los aspectos teóricos necesarios que fundamentan la práctica, se le habrán de proporcionar ahora al estudiante en una forma adecuada que permita que él y su compañero sean capaces de entender y desarrollar cualquier experimento en el laboratorio. Además, se le ofrecerán las referencias para que ellos investiguen dicho aspecto teórico tan profundamente como lo deseen.

En este principio se basa cualquier método moderno de enseñanza, llámese instrucción personalizada o abierta.

Escribir el instructivo de la práctica en la forma arriba descrita no es, por supuesto, tarea fácil.<sup>5</sup> Más adelante volveré sobre este punto.

### **Descripción del sistema**

En el sistema que aquí estoy proponiendo y que he desarrollado en la Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas de la Universidad Autónoma de Nuevo León, se ofrecen simultáneamente, en cada sesión, todos los experimentos que han de realizarse en un ciclo escolar para cada uno de los cursos FI, FII, etc., Atendiendo al número de alumnos, tiempo dedicado al laboratorio y tipo de laboratorios, se planea por adelantado el desarrollo de cada uno de éstos, tal como número de brigadas, número de estudiantes en cada brigada y la frecuencia con que se llevarán a cabo.<sup>6</sup>

---

la ayuda que sus compañeros le pueden brindar por la misma razón, o bien por considerarse superior.

<sup>4</sup>Este procedimiento también se ha llevado a cabo por razones económicas más que otra cosa.

<sup>5</sup>El escribir el instructivo exige de un entrenamiento muy serio para los profesores que lo llevarían a cabo. Se puede pensar en la alternativa de comparar instructivos ya hechos, pero éstos, usualmente escritos en otro idioma, presentan el problema de adaptación al medio académico nuestro.

<sup>6</sup>Para ver de qué manera se lleva a cabo este procedimiento, consúltese el apéndice.

Una vez que se ha efectuado la primera sesión de laboratorio, en donde se realizaron todas las prácticas correspondientes a un laboratorio en particular por cada una de las brigadas, éstas simplemente se rotan para la siguiente sesión. El proceso se repite hasta que cada brigada haya efectuado todos los experimentos.

Por ejemplo, si suponemos que un semestre consta de catorce semanas y que existe una sesión de laboratorio quincenal, entonces se seleccionan los siete experimentos del curso. Para cada uno de los siete experimentos, se habrá de escribir la práctica correspondiente y proveer del material necesario. Se escoge el espacio para poder montar cada uno de los experimentos de tal manera que las siete se lleven a cabo simultáneamente, de preferencia en un solo salón de laboratorio (aunque esto, por supuesto, tampoco debe ser limitante). Después, de acuerdo con la lista de alumnos que atenderán el laboratorio y la tabla que aparece en el apéndice, se plantea el resto de la organización de aquél, como el número de brigadas, el número de instructores, sesiones, etc.

Este método tan simple permite una flexibilidad no obtenida hasta ahora; es sumamente económico, pues no se requiere tener equipos iguales para reducir el número de estudiantes por brigada, ni demanda un instructor para cada práctica en particular. El instructor deberá ser entrenado para que pueda vigilar que todos los experimentos se estén llevando a cabo adecuadamente. El sistema permite, además, optimizar siempre los recursos que se tengan, ya que ofrece -como menciono en el apéndice- criterios cuantificables que ayudan a pronosticar la expansión misma del laboratorio en función del incremento en el número de estudiantes que lo atienden. Esto permite, por consiguiente, que en cada ciclo escolar la planeación y organización sea adecuada y sujeta a las necesidades reales del laboratorio.

Finalmente, proporciona al alumno incentivos para sugerir y desarrollar el diseño que permita no sólo mejorar los experimentos por él realizados, sino que también proponga otros nuevos, que puedan ser realizados con cierta facilidad. El responsable de los laboratorios deberá estar listo en cualquier momento para promover estas ideas, y redactar los experimentos en cuestión que a final de cuentas le darán diversidad a su laboratorio.

### **La ejecución del experimento**

Estando planeado todo de antemano, al llegar el estudiante a cada sesión de laboratorio, los experimentos ya están en sus respectivas mesas de trabajo, listos para ser armados por él. El alumno ha recibido con al menos quince días de anticipación la práctica que va a desarrollar y habrá tenido suficiente tiempo para leerla. Usualmente la práctica tiene el siguiente formato:

- a) Nombre
- b) Objeto
- c) Teoría o discusión
- d) Procedimiento
- e) Resultados (preguntas, análisis gráficos, matemático y discusión)
- f) Conclusiones
- g) Bibliografía

a) y b) no necesitan comentario. En cuanto a c), quiero enfatizar el hecho fundamental de que los experimentos no siguen a la teoría; ésta debe, por lo tanto, incluirse en el texto de la práctica. De ahí la importancia de que la práctica sea escrita adecuadamente. En d) se detalla con cuidado el proceso que debe seguirse para montar el experimento completo y poder ejecutarlo con facilidad, rapidez y seguridad. Se describe qué tipo de mediciones deberán hacerse y se sugiere la construcción de tablas y otros elementos para organizar los datos experimentales. La sección de resultados e) es una lista de preguntas que dirige al alumno al análisis gráfico y matemático que debe desarrollar para poder contestar al objetivo del experimento, o bien a la discusión del mismo.

Finalmente, vienen las conclusiones formales del experimento, hechas por el alumno no sólo como respuesta a las preguntas que se le hicieron, sino, principalmente, en base a la discusión que al respecto ha tenido con sus compañeros de brigada.<sup>7</sup>

### **El reporte**

El formato del reporte cambia también drásticamente en el sistema que propongo. Lo único que tiene que hacer el alumno ahora (en forma individual), es pasar a su cuaderno de trabajo solamente lo siguiente:

- a) Nombre del experimento.
- b) Objeto del experimento.
- c) Resultados (obtener valores de variables, gráficas, ecuaciones, etc. Para ello se les proporciona papel para graficar). En esta parte del experimento, el alumno deberá contestar una serie de preguntas que le permitirá no sólo cumplir con el objetivo del experimento, sino también le induce para que junto con su compañero pueda comparar sus resultados teóricos con los experimentales, o bien con los obtenidos por otras brigadas.

Al concluir con su experimento, el estudiante deja su cuaderno de trabajo en el laboratorio y vuelve a éste hasta la próxima fecha ya programada. Cuando regresa, su cuaderno deberá estar corregido, lo cual permite al alumno poder percatarse de su desarrollo en el laboratorio.

### **Calificación**

La evaluación de la práctica es simplemente acreditada o no acreditada. Si el estudiante deja de asistir dos veces, pierde automáticamente el curso del laboratorio.

### **Instructor**

Los instructores que toman parte en este tipo de experimentos deberán ser entrenados adecuadamente con anticipación por el responsable del desarrollo de los laboratorios. El entrenamiento sigue usualmente este procedimiento:

- a) Junto con el responsable, el instructor ejecutará todos los experimentos que deberá estar supervisando. Las secciones más importantes en este caso son las correspondientes a resultados y conclusiones. El responsable deberá discutir con los instructores tan ampliamente como sea posible las alternativas que los estudiantes tienen al reportar y discutir sus resultados.
- b) El instructor deberá estar a la expectativa de lo que está sucediendo en el laboratorio. Deberá estar pendiente, todo el tiempo, de cada brigada a su cargo y saber cuándo una brigada está teniendo problemas y no puede seguir adelante; cuándo un experimento se está llevando a cabo peligrosamente, o simplemente saber cuándo no se están observando las reglas de laboratorio.
- c) El instructor debe estar pronto a dar ayuda a quien se la pida; sin embargo, los instructores deben ser entrenados también para dar la ayuda en forma discreta, es decir, poco a poco y siempre forzando al alumno a que piense y discuta con sus compañeros la naturaleza de su problema. Este proceso, aun cuando

---

<sup>7</sup>Tal vez se pueda pensar en este momento que el alumno se ha convertido en un autómatas. Nada más lejos de la verdad. Lo que realmente sucede es que ahora se toma muy en cuenta el hecho de separar la práctica de la teoría correspondiente al experimento, y por esta razón el estudiante recibe más información respecto a lo que debe hacer y saber en el momento de realizar un experimento. Lo que se puede pensar que se sacrifica de iniciativa propia en el procedimiento, se recupera en la sesión correspondiente a las preguntas y discusión, donde se encausa al alumno a hacer razonamientos y se le fomenta directamente el método científico. De esta manera se hace del laboratorio lo que debe de ser: un proceso de entrenamiento preliminar y necesario antes de iniciarse en la investigación.

cuidadoso, debe ser rápido, pues un instructor tiene usualmente a su cargo de cuatro a seis experimentos simultáneos (ver tabla en el apéndice).

## **PRACTICAS Y EQUIPO**

El sistema que estoy sugiriendo, lo propongo al mismo tiempo que el Centro de Instrumentos de la Universidad Nacional Autónoma de México acaba de terminar un proyecto apoyado por la Asociación Nacional de Universidades e Institutos de Enseñanza Superior y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, para la construcción de equipo modelo de laboratorio para escuelas preparatorias y facultades.

Las ventajas que ofrece el equipo que el Centro de Instrumentos diseñó son varias; entre otras, y fundamentales para la aplicación de un sistema de laboratorio como el que aquí propongo, están:

- a) El equipo es económicamente accesible y de mantenimiento fácil y barato.
- b) Para el equipo o material que se emplea para realizar un experimento, se ha escrito un instructivo, tanto para el instructor como para el alumno.

Con estas dos características y la tabla que aparece en el apéndice, podrá ser posible tener un excelente conocimiento experimental en el transcurso de la carrera de Física, experiencia que hasta ahora ha sido no sólo limitada, sino casi imposible de lograr en el laboratorio.

## **CONCLUSIONES**

El problema de dotar de laboratorios adecuados a una institución educativa (secundaria, universidad, normal, etc.) se ha pensado siempre que es, en última instancia, de carácter totalmente económico.

Las ideas que he desarrollado aquí sugieren fuertemente lo contrario. Lo que ha faltado ha sido un plan económico, pero a la vez académicamente adecuado y sólido, en la organización y planeación del trabajo en laboratorios.

El plan aquí propuesto, y que he aplicado en la Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas de la Universidad Autónoma de Nuevo León, nos ha permitido una serie de laboratorios que de otra manera no hubiese sido posible realizarlos.

El principal problema con que nos enfrentamos en un principio en esta facultad es típico de cualquier otra: existía un gran número de equipo diverso, a veces incompleto, conseguido a regañadientes, el cual no solamente había que hacer funcionar, sino que debía permitirnos ofrecer los primeros laboratorios de física básica a los alumnos. Esto lo logramos con la aplicación directa de las ideas que he descrito a lo largo del presente ensayo.

El plan de realizar seis u ocho experimentos simultáneamente con un solo instructor, no es utópico. Funciona y da resultados. La implantación de un sistema de este tipo no es fácil, por supuesto, dado que requiere de una serie de instructivos y de prácticas escritas de una manera especial. Sin embargo considero que para una población estudiantil que crece tan rápido como la nuestra, su buena preparación académica demanda laboratorios adecuados (de los cuales no se tienen ni los indispensables); el reto que esto representa debe de ser aceptado.

Las ideas aquí descritas representan no sólo una ayuda en el plano académico, sino que, tal vez, sean la única solución factible, de momento, a nuestras universidades, dadas las restricciones presupuestales a que siempre están expuestas.

## APENDICE

Los diferentes parámetros que harán posible optimizar la organización de un laboratorio como aquí lo propongo, son solamente cuatro:

1.  $S = N^{\circ}$  de sesiones por día
2.  $A = N^{\circ}$  de alumnos por experimento
3.  $D = N^{\circ}$  de días
4.  $E = N^{\circ}$  de experimentos por sesión

El producto de los cuatro parámetros forma la función SADE, cuyo valor es igual al número de alumnos que podrán ser atendidos en un laboratorio en particular.

A continuación, discutiré cada una de las variables independientemente, así como el valor de la función SADE. Por razones de comodidad, discutiré solamente el caso de laboratorios para una facultad:

- S.** El número de sesiones que podemos hacer en un día. Es usual que las sesiones duren tres horas que se reparten de acuerdo con las necesidades de cada facultad. Actualmente se acostumbra trabajar en dos turnos, uno matutino para los cursos vespertinos, y viceversa. Pero el rango de valores de  $S$  es mayor. En caso de trabajar de 7:00 A. M. a 7:00 P. M. podrá haber como máximo cuatro sesiones.
- A.** El número de alumnos por experimento (o brigada), puede tomar cualquiera de tres valores: 1, 2 y 3. Sin embargo, por razones de seguridad no se permiten brigadas individuales, y se considera que tres deben de ser el máximo número de alumnos que pueden llevar a cabo cualquier experimento.
- D.** Es el número de días que se trabaja en el laboratorio. Usualmente se trabaja de lunes a viernes y aun en muchos casos se incluyen los sábados.
- E.** El número total de experimentos que se llevan a cabo en un semestre y se realizan en cada sesión de laboratorio simultáneamente. Por ejemplo, si el laboratorio es quincenal, entonces el número de experimentos será la mitad del número de semanas efectivas de clase que hay en un semestre.

No obstante que los cuatro parámetros están limitados, se puede jugar con todas sus combinaciones posibles, obteniéndose resultados ventajosos además de sorprendentes. La tabla I ilustra el rango de valores que tiene cada parámetro, así como el valor de SADE. Veamos solamente dos casos, el de condiciones mínimas para cada uno de los valores de los parámetros, y compárese con el valor de SADE en condiciones máximas.

En este caso, con seis equipos para hacer seis experimentos, en un semestre se pueden atender grupos individuales que formarán desde 12, ¡hasta 432 alumnos!

Como los experimentos se ejecutan quincenalmente, esto permite que el número real de alumnos que se pueden atender con sólo seis equipos para un solo laboratorio, sea de ¡864! (Esto es equivalente a ¡21 grupos de 40 alumnos cada uno!)

Consultando la tabla I, se puede planear la organización del laboratorio en forma óptima. Como conocemos el número de alumnos para cada laboratorio, podemos seleccionar la combinación de valores en SADE que sea más económica. Además, podemos saber por adelantado cuándo cambiamos de condiciones para cada laboratorio.

¿Qué sucede cuando el número de alumnos que tiene que llevar un laboratorio es superior al valor máximo de SADE? Depende, por supuesto, de las necesidades de cada escuela o facultad, pero se pueden hacer dos cosas:

1° Aumentar el valor de SADE todavía más. Esto se puede llevar a cabo cambiando las condiciones máximas. S aumentaría en I al extender el horario de laboratorios de 7:00 A. M. a 10:00 P. M.

Se sugiere que A siga igual, D incluirá domingos y E puede cambiarse de varios modos:

- a) Puede aumentarse su número con nuevos experimentos de tres horas cada uno.
- b) Pueden diseñarse experimentos más cortos para tener sesiones en las cuales se realicen dos experimentos a la vez.

2° Empezar a tener equipos repetidos. Es decir, si se tienen los equipos iguales para cada una de las seis prácticas del ejemplo anterior, habría posibilidades para darle laboratorio al doble de estudiantes, y así sucesivamente. Asimismo, se pueden hacer conjuntos de experimentos adicionales dentro de las mismas áreas del conocimiento. Es decir, no formar equipos repetidos, sino adicionales. De esta manera se puede ir incrementando paulatinamente el número de experimentos que sin llegar necesariamente a ser repetidos, puedan empezar a formar un segundo conjunto por sí solos. Lo anterior se llevaría a cabo de acuerdo con las facilidades de equipo de cada facultad o escuela en particular.

**TABLA 1**

<b>S</b>	<b>A</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>SADE</b>	
1	2	1	6	12	
		2	6	24	
		3	6	36	
		4	6	48	
		5	6	60	
		6	6	72	
	3	1	6	18	
		2	6	36	
		3	6	54	
		4	6	72	
		5	6	90	
		6	6	108	
	2	2	1	6	24
			2	6	48
			3	6	72
			4	6	96
			5	6	120
			6	6	144
3		1	6	36	
		2	6	72	
		3	6	108	
		4	6	144	
		5	6	180	
		6	6	216	

El siguiente grupo se forma con  $S = 3$  y  $A = 2$  y que es igual al grupo anterior formado con  $S = 2$  y  $A = 3$ . Los valores para SADE son los mismos. Se sugiere entonces que se mantenga  $A = 2$ .

**TABLA 1 (continuación)**

<b>S</b>	<b>A</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>SADE</b>
3	3	1	6	54
		2	6	108
		3	6	172
		4	6	216
		5	6	270
		6	6	324
4	2	1	6	48
		2	6	96
		3	6	144
		4	6	192
		5	6	240
		6	6	288
4	3	1	6	72
		2	6	144
		3	6	216
		4	6	288
		5	6	360
		6	6	432