



Centro de Investigación y de Estudios
Avanzados del Instituto Politécnico Nacional

Unidad Zacatenco

Departamento de Matemática Educativa

**Saberes matemáticos asociados a la *curva de calibración*
en el análisis químico: Un caso**

Tesis que presenta

Jesús Grajeda Rosas

Para obtener el grado de

Maestro en Ciencias

En la especialidad de Matemática Educativa

Directores de la Tesis:

Dr. Ricardo Arnoldo Cantoral Uriza

Dra. Ana Soledad Bravo Heredia

Distrito Federal, México.

Noviembre de 2014.

Saberes matemáticos asociados
a la *curva de calibración*
en el análisis químico: Un caso

Jesús Grajeda Rosas

AGRADEZCO

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) el valioso apoyo económico que me brindó para mi formación académica y desarrollo profesional durante la realización de la Maestría.

Jesús Grajeda Rosas

Número de becario: 485402

-¿Podría decirme, por favor, qué camino debo tomar?

-Eso depende de a dónde quieras ir -respondió el Gato.

-Lo cierto es que no me importa demasiado a dónde... -dijo Alicia.

-Entonces tampoco importa demasiado en qué dirección vayas -contestó el Gato.

-... siempre que llegue a alguna parte -añadió Alicia tratando de explicarse.

-Oh, te aseguro que llegarás a alguna parte -dijo el Gato- si caminas lo suficiente.

Charles Lutwidge Dodgson, conocido como LEWIS CARROLL,

Las aventuras de Alicia en el país de las maravillas

(1865)

*Para mí mamá Lupita y para mi sobrinita
Ximena, la primera porque siempre será mi
mayor orgullo y la segunda porque desde que
nació se robó mi corazón.*

¡Las amo!

AGRADECIMIENTOS

Durante estos dos años, muchas personas e instituciones han participado en este trabajo, y quiero expresar mi gratitud por el apoyo y la confianza que me han prestado de forma desinteresada. La presente Tesis es un esfuerzo en el cual, directa o indirectamente, participaron varias personas leyendo, opinando, corrigiendo, dando ánimo o acompañando en las situaciones de crisis y en los momentos de felicidad.

Inicio agradeciendo al Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional por todas las facilidades que me dio para terminar este grado de estudios, por los múltiples apoyos y por la comunidad de investigadores que hacen. Gracias por tener un espacio para mí.

A la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, pues además de ser mi primera casa de estudios, me facilitó sus instalaciones para la toma de algunos datos que me sirvieron para encaminar a mi investigación.

Agradezco a mi asesor el Doctor Ricardo Cantoral y a mi co-asesora la Doctora Soledad Bravo por haber confiado en mi persona, por compartir sus conocimientos y escuchar mis propuestas, por su paciencia y por la dirección de este trabajo; a la Licenciada Karen Bustamante y a la Maestra Maricarmen Fajardo por leer cada página de este documento y revisar la redacción; y a la Maestra Tamara del Valle, por revisar mi trabajo de manera minuciosa y pensar conmigo.

A mis profesores: Dra. Claudia Acuña, Dra. Rosa María Farfán, Dra. Asuman Oktaç, Dra. Soledad Bravo y Dr. Francisco Cordero. Gracias por los interesantes seminarios que me impartieron, porque de cada frase que ustedes decían estaba llena de conocimientos que siempre me ponían a reflexionar y a ir más allá.

A los profesionistas Ulises, Joel, Ismael, Isaac, Humberto, Trinidad y Ángel, que tuvieron toda la disponibilidad para que pudiera hacerles las entrevistas. Ellos han hecho posible que la parte experimental de esta tesis haya salido de la mejor manera. Gracias también a la Maestra Azucena Pérez y a su esposo el M. C. Ángel Pretelín que fueron mi

contacto con tres de los siete profesionistas que entrevisté. Agradezco su disponibilidad e interés en colaborar con mi investigación.

A los miembros del Jurado, la Doctora Gisela Montiel y al Dr. Francisco Cordero, por sus valorables sugerencias a la versión original del manuscrito, que contribuyeron al mejoramiento y ordenamiento del presente trabajo.

Agradezco también al personal del Cinvestav que siempre tiene una cara linda para ayudar y una disponibilidad impresionante: Adriana, Nancy, Jadde, Laura, Susana y Gaby ¡Que fácil nos hacen la vida a todos los que estudiamos aquí!

Debo resaltar además, que estos dos años se hicieron totalmente amenos gracias a mis compañeros de generación que siempre estuvieron ahí: Toño con sus albures y sus consejos, Carmen con sus gestos y su inigualable atención, Betty con sus risas y sus cambios de humor que terminaré por extrañar, Andrés con sus charlas y sus fiestas, y Claudio con sus atinadas orientaciones sobre la vida. Los quiero hermanitos.

Echaré de menos a mis cuates yucatecos que poco a poco han ido poblando al departamento de Matemática Educativa: María Rosa, Irene, Ely, Mayra, Mario, Luis, Sergio y David; a los chilenos chascones: Jano, Dany, Lianggi y mi buen amiga Tamara; a la argentina que más quiero: mi hermanita Dany Reyes; al tico Rodolfo; a los colombianos Johana y Freddy; a mis amiguitas y compañeras de congresos: Minnelli y Claudia; al buen amigo César y a mis amigas Lorena y María... Gracias por estar siempre ahí.

A mis hermanos: Héctor y Alex que siempre, de alguna u otra forma, están al pendiente de mis pasos; a mis tías y tíos: Bertha, Rebeca, Sofía, Ricardo y Chava que son como mis segundos padres; a mis primas y primos: Marisol, Lucy, Tere y Beto que me ofrecieron su apoyo desde que llegué a esta ciudad; a mi abuelita Marina que siempre me da ánimos para sacar todos mis proyectos y me da sus bendiciones; a mi padre, mi viejo Marcial Grajeda, que me ha enseñado que lo que hace valer a la gente es el trabajo y la honestidad. A todos los demás miembros de mi familia, gracias por siempre apoyarme.

A Francisca Rosas y Aureliano Grajeda, mis abuelitos. Gracias porque sé que desde donde están, siempre piden por mí. Soy el primer Grajeda en tener maestría y fui el primer

Rosas en tener una licenciatura. Ita, Ito... sé que esto siempre lo esperaron de mí, no los defraudé.

A mis amigos: Nacho, Diego, Irlene, Brenda, Melissa, Diana, Lombar, Toño, Walter, Riqui, José Alberto, Víctor, Carmelita, Miriam, Karla, Lucero, Glory y Gaby, gracias por su cariño y sus oídos para escuchar todas las ideas, malas y buenas, que se me ocurren.

Como no mencionar a la Maestra Mirna Villanueva, que siendo una persona a la que acababa de conocer, fue una de las que más me dio ánimos para que continuara estudiando. Gracias Maestra por sus consejos.

Finalmente agradecerte a ti Karen, por darme tu tiempo, tu apoyo y tu amor. Por estar siempre al pendiente de mí, por escuchar mis sueños y apoyarlos.

Con absoluta sinceridad, mi agradecimiento a todos los que hice mención ya que con su aporte me ayudaron a hacerlo posible. En general quisiera agradecer a todas y cada una de las personas que han vivido conmigo la realización de esta tesis, con sus altos y bajos, y que no necesito nombrar porque tanto ellas como yo sabemos que desde lo más profundo de mi corazón, les agradezco el haberme brindado todo el apoyo, colaboración, ánimo y sobre todo cariño y amistad.

A todas y todos, n! gracias.

Jesús

ÍNDICE

	<i>Página</i>
ÍNDICE	XI
RESUMEN	XV
ABSTRACT	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
CAPÍTULO 1. PROBLEMÁTICA Y ANTECEDENTES	1
1.1. Justificación del trabajo de investigación	3
1.2. Problemática y preguntas de investigación	4
1.3. Antecedentes	7
CAPÍTULO 2. ANÁLISIS DEL SABER INVOLUCRADO EN LA NOCIÓN DE ABSORBANCIA	11
2.1. Esquema histórico	14
2.2. Conceptos más relevantes en la espectrofotometría	16
2.3. La espectrofotometría	18
2.4. El espectrofotómetro	19
2.5. Naturaleza de la energía radiante	22
2.6. Color y estructura molecular	25
2.7. Leyes de la espectrofotometría	26
2.8. Motivos por los que falla la ley de Beer	29
2.9. Relación entre transmitancia, absorbancia y concentración	30
2.10. Uso de las curvas de calibración en el análisis químico	33
2.11. Linealidad de la curva de calibración	36

CAPÍTULO 3. MARCO TEÓRICO	39
3.1. La Teoría de la Socioepistemología	42
3.2. La Socioepistemología en diferentes escenarios	46
3.3. Las gráficas	49
3.3.1. Las gráficas desde la mirada Socioepistemológica	49
3.3.2. Una síntesis necesaria de nuestra postura	53
CAPÍTULO 4. ASPECTOS METODOLÓGICOS DE LA INVESTIGACIÓN	55
4.1. El método a seguir	58
4.2. Estudios exploratorios	60
4.3. Características de los entrevistados	61
4.4. El instrumento para la recolección de resultados	63
4.4.1. Guía de la entrevista	66
4.4.1.1. Introducción a la presentación de las gráficas	66
4.4.1.2. Análisis de la Gráfica 1	67
4.4.1.3. Análisis de la Gráfica 2	73
4.4.1.4. Análisis de la Gráfica 3	74
CAPÍTULO 5. EVIDENCIA EMPÍRICA Y ANÁLISIS DE DATOS	77
5.1. La aplicación de la prueba piloto	80
5.1.1. Análisis de resultados en la aplicación de la prueba piloto	80
5.2. Análisis los datos obtenidos en las entrevistas con <i>A</i> y <i>H</i>	84
5.2.1. Sobre el uso que se le da a la curva de calibración	84
5.2.2. Sobre la toma de decisiones que un analista químico puede hacer con base en la interpretación de la curva de calibración	85
5.2.3. Importancia de la linealidad	92
5.2.4. Interpolación y extrapolación en las mediciones	95
5.2.5. Consideraciones para quitar un punto de una curva de calibración	97

5.2.6. Sobre el significado asociado a la pendiente de la curva	98
5.2.7. Sobre el parámetro R^2	99
5.2.8. Sobre las diferencias que pueda haber entre lo laboral y lo escolar en cuanto al uso e interpretación de las curvas de calibración	103
5.3. Similitudes y discrepancias encontradas cuando diferentes profesionistas analizan una gráfica de su propio campo disciplinar	107
5.3.1. Similitudes	107
5.3.2. Discrepancias	111
CAPÍTULO 6. A MODO DE CONCLUSIÓN	115
Referencias	123
ANEXOS	129
Anexo 1. Entrevistas	131

RESUMEN

La matemática escolar suele reducirse a un *tratamiento utilitario* que se caracteriza por ser una enseñanza de técnicas, de tareas repetitivas, de memorización de procesos, de la elección adecuada de los “trucos” pertinentes, y así un largo etcétera. Esta situación, si bien ha sido ampliamente criticada en el ámbito educativo, no ha desaparecido por completo de las aulas. En nuestra opinión, resultaría conveniente analizar, para contribuir a remediar ese problema, el uso sistemático y cotidiano que hacen de los conocimientos matemáticos escolares los técnicos, los profesionales, y todo aquel usuario del saber matemático; pues ello brindaría escenarios de significación alternativos, más realistas y funcionales. En nuestro caso, pusimos la mirada en los escenarios de prácticas profesionales que caracterizan al análisis químico. Estudios semejantes, para otras comunidades, han sido reportados previamente, como es el caso de la investigación de mercados (López-Ballesteros, 2009) o sobre los efectos en la reproducción animal ante el uso de tóxicos (Tuyub, 2008). Todo ello con la doble intención, por un lado, de ampliar el repertorio de investigaciones en la dirección de estudios sobre prácticas profesionales, y por otro, de fortalecer la evidencia empírica que confirme nuestra hipótesis de partida de naturaleza socioepistemológica: **es en el uso del conocimiento situado, de donde surgen los significados asociados al saber de referencia**. Para ello, en esta investigación se realizó un estudio de casos, mediante la técnica de entrevista participativa a dos profesionistas expertos en el área del análisis químico cuando utilizaban e interpretaban una curva de calibración a fin de conocer la concentración de una especie química.

Este reporte, en síntesis, permite además una contrastación entre el uso de “gráficas específicas” en escenarios un tanto distintos que los brinda el aula con las matemáticas escolares. Donde afirmamos que en el mundo profesional al que nos referimos, las matemáticas no son el foco de la actividad, sino que se usan para responder preguntas formuladas en cada campo disciplinar, e identificamos el uso implícito que los conocimientos matemáticos tienen a través de los argumentos y significados atribuidos en dichos contextos que una comunidad de analistas químicos tiene.

ABSTRACT

School mathematics is often reduced to a *utilitarian treatment* peculiar of teaching techniques, or “tricks”, repetitive tasks, memorization process and so many more. This situation, largely criticized in education, continues in the classrooms. According to our research, it would be useful to analyze systematically and daily the use of mathematical knowledge at school among technicians, professionals, and any user of mathematical knowledge in order to contribute to remedy the problem related with the utilitarian approach. As a result, this would provide alternative scenarios, more realistic and with functional significance. In this research, we focused in the scenario of professional practices typical in chemical analysis. Similar studies for other communities have been previously reported, such as market research (Lopez - Ballesteros, 2009) or the effects of toxics in animal reproduction (Tuyub, 2008). All this with a dual purpose: first, to expand research towards studies on professional practice. Second, to strengthen the empirical evidence to support our hypothesis of socioepistemological nature: **the use of situated knowledge from where the meanings come up to associated reference knowledge.** Therefore, in this research, it was developed a case study using the technique of participatory interviews to two expert professionals in the area of chemical analysis, and then interpreted when using a calibration curve to determine the concentration of a chemical.

To sum up, this report also allows the use of contrast between "specific graphs" in different scenarios which provided the classroom with school mathematics. Where we state that in the professional world to which we refer, mathematics are not the focus of the activity, but they are used to answer questions in each discipline and identify the implicit use that mathematical knowledge is through arguments and meanings attributed in such contexts that a community of analytical chemists have.

INTRODUCCIÓN

En Matemática Educativa es común encontrar investigaciones que atiendan aspectos cognitivos, epistemológicos o didácticos acerca de lo que ocurre en el aula al impartirse una clase de matemáticas. En esta investigación, pretendemos abandonar esta postura; nos preguntamos sobre el papel de las matemáticas escolares en su uso en prácticas profesionales. Consideramos que el estudio de estas prácticas permitirá volver al aula con nuevas ideas que incidan en un rediseño basado en una matemática funcional en el sentido de Cordero y Flores (2007), quienes la conciben como el conocimiento incorporado orgánicamente en el humano que lo transforma y que le transforma su realidad.

La Teoría Socioepistemológica de la Matemática Educativa servirá de base en esta investigación, pues pone atención en el papel que desempeña el uso del conocimiento en la constitución del saber matemático. La teoría afirma, según Cantoral y Farfán (2003b), que no basta con mirar a los conceptos y a sus diferentes estructuras de manera aislada, sino que se precisa del tratamiento de las prácticas que producen o favorecen la necesidad de tales conceptos. Esta teoría estudia la emergencia de los conocimientos matemáticos en función de las prácticas ejercidas por diversas comunidades, y analiza cómo es que viven estas prácticas y conocimientos matemáticos en las comunidades escolares (Cantoral, 2013).

En esta investigación reportamos los usos de una gráfica que, en la comunidad de los analistas químicos, recibe el nombre de *curva de calibración*. Esta es usada para obtener información acerca de la cantidad de una especie química en un volumen dado. La interpretación y uso que los analistas químicos le dan ayuda en su toma de decisiones. Nos preguntamos, ¿qué es lo que observan de esta gráfica cuando toman decisiones altamente especializadas?, pues una pequeña variación en la concentración produce, por ejemplo en el caso de los fármacos para el tratamiento cardiovascular, desenlaces que llevan o no a la cura. Responderla cuidadosa y metódicamente, siguiendo los protocolos de investigación académica, es de lo que trataremos en esta tesis de maestría.

Desde un punto de vista estructural, este reporte de investigación se ha escrito en capítulos, seis en total, en los que se plasma todo aquello que se consideró relevante para nuestros fines. En el capítulo uno mostramos la razón de ser de nuestro trabajo, la

problemática que pretendemos atacar y las preguntas que queremos contestar, los objetivos que nos planteamos y, finalmente, se da un recorrido general sobre las investigaciones que se han hecho y que guardan una relación con nuestro estudio.

En el segundo capítulo se exponen los aspectos teóricos que están involucrados con la noción de absorbancia. Este término es el que nutre de significados a la curva de calibración y el que relaciona a todas las demás nociones que surgen de su análisis. Es de suma importancia que el lector revise de manera cuidadosa este capítulo, pues es aquí en donde se dan a conocer los conceptos y nociones que saldrán a flote en los capítulos posteriores, sobre todo en el cinco y seis.

En el capítulo número tres se expone el sustento teórico del presente trabajo; así, daremos a la investigación un sistema coordinado y coherente de conceptos, constructos y proposiciones que permitirán abordar el problema, integrando a la investigación dentro de un ámbito donde esta cobre sentido. Como ya mencionamos, la teoría con la que miramos a la problemática es la Socioepistemología, por lo que en este mismo apartado se dará una breve descripción de ella, resaltando aquellas particularidades que tienen que ver con nuestro estudio.

En este mismo capítulo mostramos una postura particular sobre la noción de gráfica, pues consideramos de partida que las gráficas no solo son objetos que se enseñan y usan en la escuela, sino que su aprendizaje, resignificación y uso se extiende a los dominios sociales, en donde la gráfica no es únicamente un objeto matemático, sino que es un portador de información que es requerida por el ciudadano común y que cuando este lee una gráfica, su interpretación está íntimamente ligada al contexto y a los motivos sociales. Ubicamos a los conceptos ligados a las gráficas en un alto estatus epistemológico dentro de un modelo de conocimiento consistente con la intervención de la práctica social, ya que dicha intervención ayudará a poner al descubierto las causas reales del desarrollo social de tal conocimiento, y que pudieran ser los procesos institucionales. Con ello la resignificación no sería otra cosa que la construcción del conocimiento mismo en la organización del grupo humano, normado por lo institucional (Cordero & Flores, 2007). Un escenario que el programa socioepistemológico ha formulado para dar evidencia de la aseveración anterior consiste en investigar y dar respuestas del uso del conocimiento en una situación o escenario específico.

En particular, como se mencionó, se está trabajando en la interpretación de una gráfica llamada Curva de calibración que se usa en la comunidad de los analistas químicos.

En el cuarto capítulo se describe el método empleado, se explica lo referente al estudio exploratorio que fue necesario realizar, se expone el perfil de los entrevistados y se muestra el instrumento que se usó. Para la toma de datos se hicieron entrevistas de tipo participativas, videograbaciones y grabaciones de voz, intervenciones reflexivas por parte del investigador y reflexiones sobre las videograbaciones; todo esto bajo las técnicas del método de estudio de casos.

En las entrevistas aparecieron varias nociones cuyo significado es situado o de base contextual, es decir, que el contexto del estudio en el que se sitúa la noción, lo dota de significado. La Socioepistemología asume como base filosófica de la construcción del conocimiento una postura pragmática, que establece que el **uso de un objeto es el que produce su significado**. En este sentido, por sí mismo un objeto no existe como tal; es y existe para un individuo o grupo en relación con ellos.

En el quinto capítulo se muestra la evidencia obtenida tras realizar siete entrevistas. De las siete que se realizaron, cuatro se hicieron a nivel exploratorio y tres para la toma de datos. De estas tres últimas, solamente se reportan dos ya que en una de ellas no se logró ahondar tanto en lo que se buscaba, pues uno de los profesionistas entrevistados tenía más conocimientos a nivel técnico y pocos a nivel teórico; por los fines buscados en esta investigación se requería de profesionistas que conocieran la técnica a profundidad, pero también el sustento teórico. De esta forma, montamos un análisis de lo que, desde nuestra fundamentación teórica, mostró cómo los analistas químicos interpretan y usan a la curva de calibración. Evidenciamos parte del conocimiento matemático que es resignificado en el campo disciplinar del análisis químico, además de levantar una lista de similitudes y discrepancias que se encontraron cuando diferentes profesionistas analizan una gráfica de su propio campo disciplinar.

Finalmente, en el capítulo seis mostramos una reflexión en torno al análisis de lo obtenido en el capítulo cinco y damos nuestra postura ante la problemática abordada. Además hacemos un análisis de la estabilidad en los resultados de investigación ante el

cambio de escenario y del investigador, pues también nos interesó fortalecer la validez de nuestros resultados al contrastarlos con resultados previos, es decir, nos interesamos por conocer si ahora con este estudio podemos confirmar o refutar los hallazgos de otros estudios preliminares sobre el papel del saber en las prácticas profesionales. De forma más específica, contrastamos lo obtenido en López-Ballesteros (2009), quien trabajó con una gráfica usada en la investigación de mercados, con lo que nosotros obtuvimos al realizar la investigación con una gráfica usada en el análisis químico.

CAPÍTULO 1

PROBLEMÁTICA Y ANTECEDENTES

Y no dejamos de preguntarnos, una y otra vez, hasta que un puñado
de tierra nos calla la boca... Pero ¿es eso una respuesta?

HEINRICH HEINE

«Lazarus»

(1854)

Ubi dubium ibi libertas:

Donde hay duda, hay libertad.

Proverbio latino

1.1. Justificación del trabajo de investigación

Los trabajos recientes que se sustentan en la Teoría de la Socioepistemología han hecho evidente que la ruta a seguir será la de trabajar con conceptos y objetos matemáticos, pero no de manera aislada, sino en conjunto con las prácticas que les acompañan a su producción; a esto se le llama la *descentración del objeto* (Cantoral, 2013).

La afirmación de que la matemática se ha quedado en el plano de lo utilitario, plantea la necesidad de poner la mirada en los escenarios de las prácticas profesionales, en las que la matemática, no siempre evidente del contexto, ha superado ese estatus para presentarse ahora como funcional e inseparable a la actividad, con el objeto de estudiar y entender los procesos que han facilitado su apropiación e incorporación a la actividad cotidiana extraescolar (López-Ballesteros, 2009). En este sentido, consideramos que es importante hacer investigaciones cuyo foco principal no sea el aula de matemáticas, sino un lugar en donde la matemática adquiere más significados y usos. Por lo anterior, el investigar a una comunidad profesional específica, contribuirá a consolidar las bases conceptuales de dicha teoría, ya que pretendemos analizar cómo usan a la matemática en una comunidad profesional para, en un futuro, tener evidencia suficiente y poder incidir sobre los planes y programas de estudio.

Trabajos de este tipo han abierto una línea de investigación de corte socioepistemológico acerca de la naturaleza de la construcción social de conocimiento en escenarios profesionales, dando luz acerca de los procesos de institucionalización, la función normativa de la práctica social y los mecanismos de construcción del conocimiento (López-Ballesteros, 2009). La investigación que aquí se presenta se desarrolla en esta misma línea y aborda el estudio de los procesos de transferencia de conocimiento matemático escolar a la práctica profesional, a partir de la observación de las prácticas en un ámbito profesional específico: la práctica del analista químico en el uso e interpretación de las curvas de calibración.

1.2. Problemática y preguntas de investigación

Las matemáticas que el alumno aprende en la escuela deberían ser, idealmente, matemáticas que se pudieran usar en su vida diaria. Pareciera que las únicas matemáticas que se usan con regularidad son las que se aprenden en la educación primaria, es decir, solo sumamos y restamos, multiplicamos y dividimos, realizamos cálculos de proporciones, equivalencias, comparaciones... en nuestra vida diaria; pero ¿qué pasa con los conocimientos matemáticos que se adquieren en la secundaria o en el bachillerato? En nuestro sistema educativo siempre se ha evaluado el aprendizaje memorizado por el alumno, pero no al conocimiento puesto en uso; este es el que de verdad debería importar.

En el nivel superior ocurre algo semejante, hay cierta inquietud por parte de los estudiantes sobre si realmente usarán el conocimiento matemático que se les enseña en la escuela. Tal es el caso de las carreras de ingeniería, que dentro de sus planes y programas de estudio se tiene un alto contenido en materias de matemáticas. Sería de esperar que las matemáticas que se enseñan en estas carreras sí fueran aplicables en la solución de problemas reales y no únicamente sirvieran para “razonar”.

En pocas palabras: siempre nos hemos preocupado por los conocimientos que los alumnos memorizan, y no por el que usan en su vida diaria. Algunas nociones de la matemática que se usan en el día a día no son fáciles de observar, por lo que se tienen que hacer estudios más profundos en esta dirección.

La existencia de un discurso Matemático Escolar¹ (dME) hegemónico, utilitario, atomizado en los conceptos, falta de marcos de referencia y centrado en conceptos acabados y continuos, provoca organizaciones didácticas, discursos escolares, materiales didácticos, entre otros, que ocasionan que los conceptos matemáticos se muestren desvinculados de toda práctica social ligada a un proceso de construcción de conocimiento. Sobre lo anterior, algunas investigaciones han mostrado que tal discurso presenta una desvinculación con las necesidades requeridas en la vida diaria. En particular, si se piensa en la matemática del aula, esta difiere de la matemática que sucede en el cotidiano, lo que conlleva a un fenómeno

¹ Entendemos por discurso Matemático Escolar a los “discursos que validan la introducción del saber matemático al sistema educativo y que legitiman un nuevo sistema de razón” (Cantoral, 2013, p. 26).

dentro del dME denominado opacidad ante la vida (Gómez, 2013); el cual se refiere a que tal discurso no considera los usos, la cultura ni el escenario de los individuos a quienes dirige la enseñanza.

Al respecto, la Matemática Educativa ha ampliado la visión para entender la construcción del conocimiento matemático y el dME en contextos socioculturales y en los de las prácticas profesionales. Habrá entonces que enfatizar en la reorganización de la obra matemática, una visión donde se permita resignificar los conocimientos matemáticos, que favorezca el uso de la matemática y que propicie el estudio no en sí del conocimiento, sino de su función (Cordero, 2013).

Aunado a lo anterior, la Teoría Socioepistemológica afirma que el conocimiento es situado, es decir, el uso de este depende de la situación y de quién la resuelve. Ante ello, surge el interés de tipificar y describir a las comunidades a través de un modelo, pero en términos de su conocimiento y no únicamente como un grupo que comparte ciertas características e intereses. Nos hemos interesado en caracterizar a un grupo de ciudadanos donde sus intereses y características comunes, interacciones, cosmovisión, lugar geográfico, actividades, entre otras, importan para poder entender lo propio de la comunidad a la que pertenecen. Sin embargo, nuestro interés no se limita a ello, dado que no deseamos caracterizar a una comunidad por sí sola, sino a una comunidad en términos del conocimiento que se usa y se construye. Afirmamos que si hay conocimiento, entonces existe una comunidad que lo construye, la cual ha sido conceptualizada como *Comunidad de Conocimiento Matemático* (Cordero, 2013). La Socioepistemología concibe al conocimiento construyéndose a la par de la experiencia del humano, permite entender que el conocimiento se construye cuando es usado, cuando tiene una función específica situacional. Por lo cual esta teoría se preocupa por fomentar las prácticas que generan el conocimiento matemático en el sistema educativo (Cordero, Cen & Suárez, 2010; Cordero, 2008).

En esta investigación nos interesamos en observar el uso y la interpretación que los analistas químicos hacen de una gráfica que se llama Curva de calibración. Cuando hablamos de interpretación nos referimos a las habilidades de los analistas para leer una gráfica, y darle sentido o significado. Si bien, no nos dirigimos a un escenario escolar, sí nos dirigimos a un campo disciplinar en donde la matemática vive y es usada; aquí ella no es el eje central, pero

es fundamental para dar respuestas a las problemáticas de la enseñanza y aprendizaje de la misma.

Con el objetivo general de identificar, describir y explicar los usos que dan los analistas químicos a la curva de calibración, para contrastarlos con los resultados del estudio que hizo López-Ballesteros (2009) sobre interpretación y usos de la curva de equilibrio Precio-Calidad, se plantean las siguientes tres preguntas de investigación, la primera es la central y las otras dos son secundarias.

¿Qué similitudes o discrepancias pueden encontrarse cuando diferentes profesionistas interpretan y usan una gráfica de su propio campo disciplinar?

¿Cuáles son los significados matemáticos que los analistas químicos atribuyen a una curva de calibración?

¿Qué tipo de usos dan los analistas químicos a la curva de calibración?

Contestar la primera pregunta nos permitirá obtener elementos que apunten hacia la estabilidad de un resultado, ya que será posible observar que es aquello que perdura a pesar de haber cambiado el escenario.

1.3. Antecedentes

Por la problemática abordada en esta investigación, nos fue necesario consultar investigaciones, que fueran realizadas bajo la mirada de la Socioepistemología, de dos tipos: en las que se ahondó en el estudio de gráficas y en las que se abordaron estudios con diferentes prácticas profesionales.

Referente a los trabajos que se han hecho sobre gráficas, podemos destacar el elaborado por Torres (2004) quien identificó usos de las gráficas con actividades de simulación y modelación; el de Flores (2005) quien explicó a lo que se le llama gráfica en los diferentes grados escolares del nivel básico, además clasificó a los tipos de gráficas y a sus usos; el de Lara (2007) quien realizó una investigación sobre el uso de las gráficas en los libros de texto de mecánica de fluidos; el de Parra (2008) quien creó un marco de referencia para resignificar a la derivada con la variación de la acumulación de un fluido en un volumen; el de Cordero, Cen y Suárez (2010) quienes dieron a conocer un marco de referencia sobre los usos de las gráficas que generan las prácticas institucionales en el bachillerato; el de Neri (2012) que realizó una investigación cuya metodología consistió en seleccionar gráficas impresas en periódicos y libros de texto de bachillerato que reflejaran situaciones cotidianas, con el propósito de que los estudiantes hicieran un análisis de las mismas; y el de Santos (2013) quien mostró un análisis del uso de las gráficas en el desarrollo de una situación contextualizada, en la que las gráficas son vistas desde otros marcos de referencia además del analítico.

En lo concerniente al estudio de diferentes prácticas profesionales, resaltamos los trabajos de Covián (2006) quien estudió el problema de la transferencia del saber escolar al saber profesional a partir del análisis de prácticas de los profesionales; de Tuyub (2008) quien analizó los quehaceres de una comunidad de toxicólogos para dar evidencia de los procesos de institucionalización de sus prácticas; de García-Torres (2008) quien trabajó con una comunidad científica que desarrolla conocimiento del área ingenieril; de Rodríguez (2009) quien hizo una investigación sobre la matemática funcional para el ingeniero; de Ramos (2010) quien tuvo como objetivo replantear la formación de los economistas con base en la predicción y modelación matemática; de Vázquez (2011) quien identificó que en las prácticas de la comunidad de biólogos existen indicadores donde el uso de la estabilidad, de

una ecuación diferencial o de un sistema dinámico, era funcional en el estudio de situaciones como la propagación de enfermedades; de Córdoba (2011) quien hizo un estudio sobre la modelación del fenómeno de enfriamiento aplicado a estudiantes de ingeniería; de Mendoza (2013) quien formuló una epistemología como base para diseñar una actividad que puso en juego una situación de acumulación de fluido para ingenieros en formación; de Torres (2013) que estudió los usos de los conocimientos matemáticos de la simultaneidad y de la estabilidad en el quehacer de ingenieros químicos; y finalmente el de Marín (2014) quien hizo un estudio para la identificación de usos de las gráficas en la microeconomía aplicada.

El trabajo de López-Ballesteros (2009) abarca a los dos grupos anteriores, pues su investigación se centra en el uso que profesionistas de la investigación de mercados hacen sobre una gráfica. Para contestar a una de nuestras preguntas, contrastaremos los resultados arrojados en esta investigación con los obtenidos en el estudio de López-Ballesteros, en lo que refiere al uso e interpretación que diferentes profesionistas hacen de una gráfica de su propio campo disciplinar (mientras ella trabajó con una curva de equilibrio Precio-Calidad, nosotros con una curva de calibración), por lo que consideramos de importancia plasmar en este apartado los principales resultados a los que llegó.

López-Ballesteros (2009) analizó los diferentes significados e interpretaciones que hacen investigadores de mercado acerca de gráficas diseñadas en contextos que adquieren sentido en el escenario de la Investigación de Mercados. Es decir, identificó el conocimiento matemático presente en forma implícita en sus argumentos, documentó los significados atribuidos a los objetos y conceptos matemáticos en ese contexto, y mostró evidencia acerca de los tipos de uso que los investigadores de mercado le dan a las matemáticas para generar conocimiento en su disciplina. En el siguiente apartado mostramos en puntos, de manera general, resultados que ella dio, las afirmaciones que hizo y conclusiones a las que llegó.

- En el trabajo realizado se muestra evidencia de que el contexto permitió a los investigadores de mercado usar a las matemáticas para generar interpretaciones y conocimientos acerca del mercado.
- Las frases que hacen los entrevistados como: “más calidad hacía arriba”, “más hacia este punto”, “más vertical”, entre otras; son tipos de comunicación que orienta al

interlocutor acerca de la posición de las marcas (puntos de calidad vs. precio) en el plano.

- El uso de las gráficas como plano que orienta determina la forma en que se da lectura a la gráfica, ya que las interpretaciones que surgen y los argumentos que las sostienen, se realizan con base en la ubicación e interacción de los elementos presentes en las gráficas, y es por su ubicación en el plano que las marcas poseen determinadas características relativas a los atributos o variables que están en juego.
- El sistema coordenado y las ecuaciones son parte del conocimiento matemático subyacente usado por los entrevistados para comparar y ubicar los elementos de la gráfica; las frases cualitativas son indicadores del uso de conocimiento matemático, y la situación de las marcas en el mercado es el significado atribuido por el contexto al conocimiento matemático.
- Se desprenden las tres prácticas de referencia: curva de equilibrio Precio–Calidad, segmentación de marcas y rectas de isovalor; así como actividades generales de identificación, caracterización, comparación y anticipación, reguladas por el uso de las gráficas como plano que orienta.
- La misma posición de los elementos de la gráfica observada desde contextos distintos tiene significado diferente, por ello se afirma que la gráfica, como espacio de orientación, tiene además un significado contextual o situado.
- El significado de “equilibrio” es situado en la gráfica, ya que es el contexto del estudio en que se sitúa la noción el que lo dota de significados.
- La introducción en el escenario de contextos conocidos favorece en los individuos el uso de saberes y la construcción del conocimiento.
- Para la toma de decisiones, al momento de leer la gráfica, se deben ubicar espacialmente los puntos para que la interpretación de la posición sea adecuada.
- Cuando se analiza una curva de equilibrio Precio-Calidad es primordial comprender el significado de los ejes, ya que este es el elemento de la gráfica que más información da.
- Que varias marcas se encuentren en equilibrio Precio-Calidad, quiere decir que si se grafican estas dos variables, su representación gráfica sería una recta. La condición de

linealidad resulta indispensable para dar buena información sobre el mercado que se esté analizando.

CAPÍTULO 2

ANÁLISIS DEL SABER INVOLUCRADO EN LA NOCIÓN DE ABSORBANCIA

Se nos enseñaba la división larga como si se tratara de una serie de recetas de un libro de cocina, sin ninguna explicación de cómo esta secuencia particular de divisiones cortas, multiplicaciones y restas daba la respuesta correcta. En el instituto se nos enseñaba con reverencia la extracción de raíces cuadradas, como si se tratara de un método entregado tiempo atrás en el monte Sinaí. Nuestro trabajo consistía meramente en recordar lo que se nos había ordenado: consigue la respuesta correcta, no importa que entiendas lo que haces.

CARL SAGAN, El mundo y sus demonios.

La ciencia como una luz en la oscuridad.

(1995)

Durante la formación profesional y en el campo de acción de los químicos (y de otros profesionistas con una formación universitaria robusta en química), es común que determinen información acerca de los componentes de una muestra. Existen diversos métodos y equipos que con los que se puede hacer. En esta investigación nos interesamos en el método de la espectrofotometría.

Este capítulo tiene como objetivo mostrar información relevante sobre las nociones que viven en el escenario del análisis químico. Si bien, hablar de análisis químico implica extenderse a una gran cantidad de métodos y aparatos de análisis, la atención se centrará únicamente en la espectrofotometría que es una de las técnicas en donde se hace uso de las curvas de calibración. Recordamos que nos interesamos en estudiar justamente a esta gráfica. Para comprender de forma profunda las conversaciones entre los entrevistados y el investigador (que se analizan en el capítulo 5), es necesario que el lector revise cuidadosamente cada uno de los apartados y términos que aquí aparecen.

La mira la hemos puesto en la noción de absorbancia por ser aquella que relaciona a todas las demás nociones. Además, siempre que en espectrofotometría se habla de una curva de calibración, necesariamente se tiene que recurrir a esta noción. El concepto de absorbancia está íntimamente ligado a varios términos: transmitancia, absorciometría, concentración, espectrofotometría, colorimetría, ley de Beer, absortividad, concentración, entre otros que aparecerán a lo largo del texto. Se definirán y se explicará la relación que existe entre ellos, y entre el concepto de absorbancia.

2.1. Esquema histórico

Para conocer la cantidad de una sustancia disuelta en otra (su concentración) es necesario que hagan análisis físicos o químicos. Para el caso que nos ocupa, el de los análisis químicos, se tiene una diversa gama de métodos y equipos con los que se puede determinar. Aquí hablaremos brevemente de la historia de los métodos colorimétricos (o mejor dicho espectrofotométricos).

Durante muchos años se han hecho intentos con el fin de utilizar el color de las sustancias para su estimación cuantitativa, estos fueron citados en reportes antiguos y de la edad media (Marczenko, 1976). El mismo Marczenko menciona que algunos autores creen que el origen de la colorimetría data desde 1852 cuando Beer formuló la Ley fundamental de la colorimetría apoyándose en los trabajos de Bouguer y Lambert.

Al principio, el término colorimetría denotaba un método de análisis en el cual los elementos eran determinados por comparación, por estimación entre los colores de la muestra y una solución estándar contenida en tubos de ensayo o usando colorímetros visuales (comparadores). Posteriormente llegaron los instrumentos fotoeléctricos (como los espectrofotómetros, los absorciómetros y los fotómetros) cuyo principio es el mismo que el de los colorimétricos. Su diferencia radica en que en estos el color no es ni medido ni comparado; en su lugar, la fracción de luz incidente que es absorbida por el analito² es mensurada y esta luz puede estar incluso en el rango que no corresponde a la región visible. De esta manera, “espectrofotometría”, “absorciometría” y “fotometría” han sido definiciones más adecuadas que colorimetría. Los métodos colorimétricos que se utilizaban desde la mitad del siglo XIX se seguían aplicando a mediados del siglo XX. En la actualidad esos métodos siguen siendo usados, pero con la ayuda de aparatos mucho más sofisticados. Originalmente las determinaciones colorimétricas fueron hechas en tubos de ensayo. Hacia finales del siglo XIX, los colorímetros visuales empezaron a ser usados. En el año de 1930 fueron introducidos a los laboratorios los primeros colorímetros fotoeléctricos. Desde entonces, los aparatos basados en los efectos fotoeléctricos han sido mejorados incesantemente (Marczenko, 1976).

² El analito es un componente (elemento, compuesto o ión) de interés analítico en una muestra.

En la figura 1 se muestra el colorímetro de Jules Duboscq (1817-1886), fabricado en 1870. Este colorímetro permite la comparación de dos disoluciones, una de las cuales, para que pueda ser empleada con fines analíticos, debe ser de concentración conocida. La luz reflejada mediante el espejo inferior atraviesa los recipientes, en los cuales se encuentran la muestra patrón y la muestra estudiada. Los tubos de vidrio permiten regular la distancia recorrida por el haz luminoso en la disolución. Finalmente, un prisma recoge estos rayos luminosos y los dirige al ocular, en el cual se pueden observar dos semicírculos procedentes cada uno de cada muestra y, de este modo, se puede comparar las intensidades de salida. Si se varía la posición de los tubos de vidrio, que regulan el valor de la distancia recorrida por el rayo, se pueden obtener en el ocular dos semicírculos de igual intensidad y calcular el valor de la concentración de la disolución analizada.

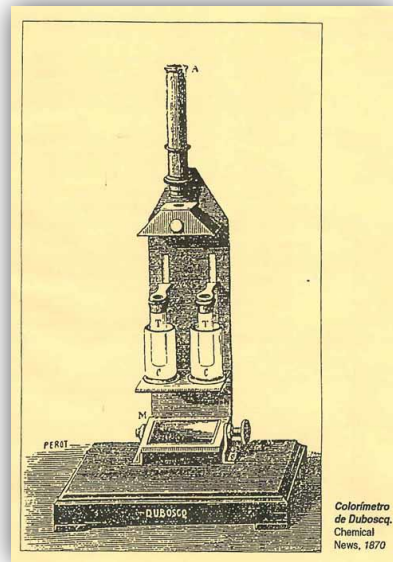


Figura 1: Colorímetro de Jules Duboscq³.

Estos instrumentos fueron reemplazados a partir de 1940 por los espectrofotómetros, que renovaron la popularidad de esta técnica. Entre 1950 y 1975, se tuvieron enormes incrementos en el número de métodos espectrofotométricos para analizar diferentes compuestos y elementos cubriendo casi a toda la tabla periódica (Marczenko, 1976).

³ Imagen tomada de <http://www.uv.es/~bertomeu/material/museo/colorim.html>

2.2. Conceptos más relevantes en la espectrofotometría

En el libro de Ayres (1970) se menciona que durante el desarrollo de la ciencia de la fotometría surgió una confusión entre la terminología, de tal manera que para un concepto o propiedad dada existían diferentes nombres en las obras de distintos autores. El reconocimiento de esta confusión dio origen a la formación de una Comisión de Nomenclatura de Espectroscopía Aplicada por la Society of Applied Spectroscopy y la American Society for Testing Materials (ASTM). Las siguientes definiciones son las recomendadas en el informe de la comisión (Hughes, 1952).

Absorbancia, A , es el logaritmo en base 10 del recíproco de la transmitancia, T , en el que el disolvente puro es el material de referencia; esto es, $A = \log_{10} 1/T = -\log_{10} T$. Esta propiedad se llamaba antiguamente densidad óptica (D. O.), o algunas veces solo densidad (D), o extinción o extintancia (E).

Absortividad, a , es la relación entre la absorbancia y el producto de la longitud de paso óptico, b , por la concentración, c . Es decir, $a = A/bc$, o $A = abc$. Los términos antiguos para absortividad son extinción específica, absorción específica, coeficiente de extinción e índice de absorbancia.

Poder de radiación, P , algunas veces llamado flujo de radiación, es la cantidad de energía transportada por un haz de energía radiante y se mide con detectores, tales como fotocélulas, termopares y bolómetros. Este término fue designado primeramente por la letra I de intensidad⁴.

Transmitancia, T , es la relación entre el poder de radiación transmitido por una muestra (P) y el poder de radiación que incide sobre la muestra de (P_0), medidos ambos en la misma posición del espectro y con la misma rendija, $T = P/P_0$. Se supone que el haz es de radiación paralela y que incide sobre las superficies planas y paralelas de la muestra, formando ángulos rectos.

⁴ Es más común encontrar en páginas de internet la letra I que la P .

Sustentando lo anterior, en el Gold Book (compendio de terminología química) de la IUPAC⁵, definen a la absorbancia de la siguiente manera

absorbance, A

Logarithm of the ratio of incident to transmitted radiant power through a sample (excluding the effects on cell walls). Depending on the base of the logarithm a decadic and Napierian absorbance are used. Symbols: A , A_{10} , A_e . This quantity is sometimes called extinction, although the term extinction, better called attenuation, is reserved for the quantity which takes into account the effects of luminescence and scattering as well.

Y para el término de transmitancia, que está íntimamente ligado al anterior se puede leer

transmittance, T , τ

Also contains definition of: internal transmittance

The ratio of the transmitted radiant power (P_λ) to that incident on the sample (P_λ^0):

$$T = \frac{P_\lambda}{P_\lambda^0}$$

Internal transmittance refers to energy loss by absorption, whereas the total transmittance is that due to absorption, reflection, scatter, etc.

⁵ La Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC, por sus siglas en inglés) es un grupo de trabajo que tiene como miembros a las sociedades nacionales de química de todo el mundo. Es la autoridad reconocida en el desarrollo de estándares para denominación de compuestos químicos, mediante su Comité Interdivisional de Nomenclatura y Símbolos.

2.3. La espectrofotometría

Desde hace muchos años se ha usado el color como ayuda para reconocer las sustancias químicas; al reemplazar el ojo humano por detectores de radiación, se puede estudiar la absorción de energía radiante por sustancias, no solamente en la zona del espectro visible, sino también en ultravioleta e infrarrojo. Se denomina espectrofotometría a la medición de la cantidad de energía radiante que absorbe un compuesto químico en función de su concentración, a una determinada longitud de onda.

La Espectrofotometría es un método instrumental de análisis ampliamente usado debido a su alta precisión y sensibilidad. Los métodos espectrofotométricos permiten determinar la concentración de casi todas las sustancias en un amplio rango de concentraciones; son de particular importancia en el análisis de trazas⁶, pruebas de alta pureza de los materiales, estudios ambientales, bioquímica y agroquímica (Marczenko, 1976).

Cuando solo se usaba la región visible, las determinaciones fueron llamadas colorimetría; afuera de la región visible (como las regiones de rayos X, ultravioleta e infrarrojo) es un grave error llamarle colorimetría debido a que el color no se alcanza a percibir con el ojo humano (Kenner and Busch, 1979). Lo ideal sería llamarle espectrofotometría, que es como actualmente se le llama.

La base de los métodos de espectrofotometría es la simple relación entre la absorción de radiación de una solución y la concentración de especies en la solución. Estos métodos no pueden ser usados para gases nobles, para todos los demás elementos y compuestos sí es posible (Marczenko, 1976).

Las ventajas de este método son: (1) amplio intervalo de longitudes de onda o de frecuencias de energía radiante; (2) la existencia en el mercado de aparatos cada vez más precisos; (3) se pueden hacer análisis rápidos y para concentraciones muy bajas y (4) es un método no destructivo (Ayres, 1970).

⁶ Denominación antigua que refería a los componentes de una muestra, cuando su concentración era tan pequeña que no se podía determinar por métodos clásicos gravimétricos o volumétricos.

2.4. El espectrofotómetro

En la figura 2 se ilustra un espectrofotómetro convencional. En este, la luz que sale de una fuente se hace pasar por un monocromador que está compuesto por dos rendijas, la de entrada y la de salida, y por un dispositivo de dispersión que puede ser un prisma, una rejilla de difracción o un filtro. La función del monocromador es aislar una sola longitud de onda. Posteriormente la luz monocromática⁷ atraviesa la muestra y finalmente llega a un detector que mide la cantidad de luz transmitida o absorbida por la muestra.

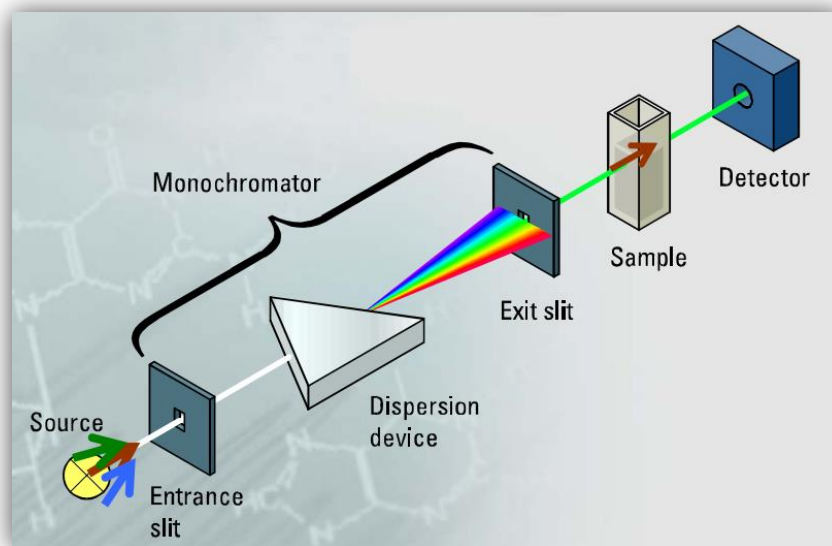


Figura 2: Principio de la medición espectrofotométrica⁸

En otras palabras, un espectrofotómetro sencillo tiene: a) como fuente de luz una lámpara, que puede ser de tungsteno (la emisión de esta cubre el espectro visible completo, extendiéndose algo en las regiones del ultravioleta e infrarrojo); b) un dispositivo llamado monocromador; c) una celda o cuvetta donde se introduce la muestra; y d) y un detector que es un fototubo que crea una corriente eléctrica proporcional a la potencia radiante que recibe. Esta señal eléctrica que crea el fototubo se transmite a un medidor que la transforma a medidas de transmitancia y absorbancia.

⁷ Energía radiante de una sola longitud de onda, o, por razones prácticas, una banda muy estrecha de longitudes de onda.

⁸ Imagen tomada de <http://www.rvsri.ac.ir/portal/File/ShowFile.aspx?ID=29a62d70-55c4-4924-888e-9911df32f80b>

En la *celda* que contiene la muestra se producen efectos no deseados que pueden alterar la exactitud de las medidas. En la figura 3 se muestran las pérdidas que ocurren por la reflexión en las interfaces aire-pared y pared-solución, y por dispersión en la solución.

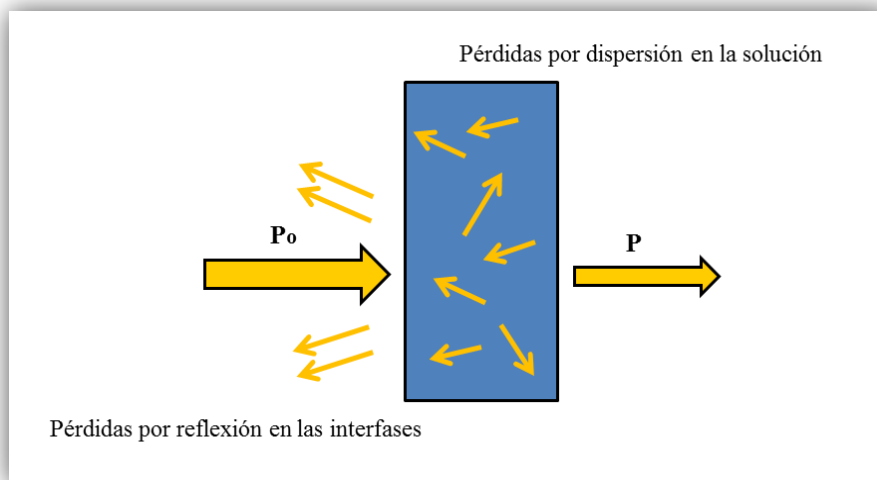


Figura 3: Pérdidas por reflexión y dispersión

Para compensar estos efectos, la potencia radiante incidente P_0 , se toma como la potencia radiante de la luz que atraviesa una celda que contiene solvente puro. Luego, se extrae esta celda y se sustituye por una idéntica que contiene la muestra, la potencia radiante de la luz que sale de la celda y que incide en el detector se toma como P , estas dos medidas permiten determinar la transmitancia T o la absorbancia A (Harris, 1992). Recordemos que:

$$T = \frac{P}{P_0} \quad \text{y} \quad A = -\log_{10} T = \log_{10} \frac{1}{T}$$

En la actualidad existen equipos muy sofisticados que permiten hacer las lecturas de forma rápida y precisa. En la figura 4 se muestra un espectrofotómetro moderno de modelo *Biochrom Libra S22* con doble haz para la región UV/Vis, este tiene un rango de longitudes de onda que van de los 190 a los 1100 nanómetros (nm).

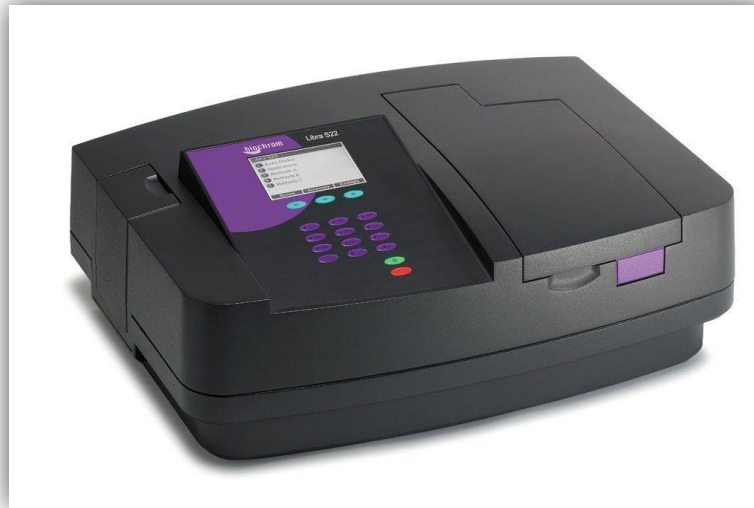


Figura 4: Espectrofotómetro moderno⁹

Con el objetivo de entender con mayor profundidad este método analítico, a continuación se explican algunos elementos teóricos acerca de la naturaleza de la energía radiante y de la relación de color y estructura molecular.

⁹ Imagen tomada de <http://www.directindustry.com/prod/biochrom/dual-beam-uv-vis-spectrophotometers-23613-397589.html>

2.5. Naturaleza de la energía radiante

La energía radiante se define como la energía transmitida en forma de radiación electromagnética (Hughes, 1952). Puede ser emitida por sustancias bajo condiciones de gran excitación, tales como las producidas por altas temperaturas o por descargas eléctricas. Esta energía puede ser absorbida, transmitida, reflejada y refractada por muchas sustancias en diferentes estados de agregación si la radiación incidente tiene una longitud de onda apropiada (Ayres, 1970).

Las radiaciones electromagnéticas muestran una doble característica. En difracción y refracción, la radiación tiene propiedades de onda, aunque no necesita un medio físico para su propagación; en los fenómenos de emisión y absorción, tiene propiedades de partículas llamadas fotones.

El espectro fotomagnético completo abarca más de 20 órdenes de magnitud de longitud de onda; su representación suele hacerse en escala logarítmica. En la figura 5 se puede observar una parte de dicho espectro.

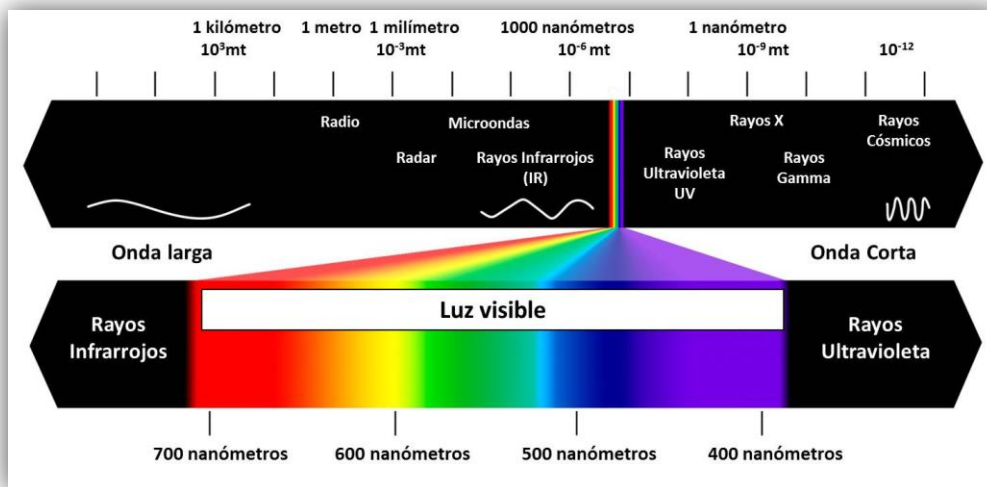


Figura 5: Espectro electromagnético¹⁰.

¹⁰ Imagen tomada de <http://www.artinaid.com/2013/04/que-es-la-luz-o-el-electromagnetismo/>

La sensación de color es la respuesta a una serie de estímulos combinados físicos, químicos y biológicos de ciertas partes de la retina del ojo para la energía radiante de determinadas longitudes de onda o frecuencias. Como se aprecia en la figura 5, el ojo humano solamente es sensible a una pequeña porción del espectro (Ayres, 1970).

La energía de un fotón depende de su frecuencia o de su longitud de onda. Viene dada por la relación

$$E = h\nu$$

donde E es la energía en ergios, h la constante de Plank, $6.6256 \cdot 10^{-27}$ ergios por segundo, y ν es la frecuencia en ciclos sobre segundo.

Cuando una molécula absorbe un fotón, la energía de la molécula se incrementa. Se dice entonces que la molécula pasa a un estado excitado. Si una molécula emite un fotón, su energía disminuye. El estado de menor energía de una molécula se llama estado basal o fundamental.

Para seleccionar la longitud de onda a la cual se harán las mediciones de la absorbancia en un espectrofotómetro, es necesario obtener un *espectro de absorción* de la sustancia que se quiere analizar. Este espectro es una representación gráfica de la absorbancia, A , (o transmitancia) en función de longitud de onda, λ , del haz de luz que incide en la muestra. Esta representación presenta ondulaciones con máximos y mínimos.

En la figura 6 se muestra un ejemplo de un espectro de absorción. En general, se elige la longitud de onda que corresponde a un valor máximo de absorbancia para luego hacer la curva de calibración, con lo cual se minimiza el error de medición.

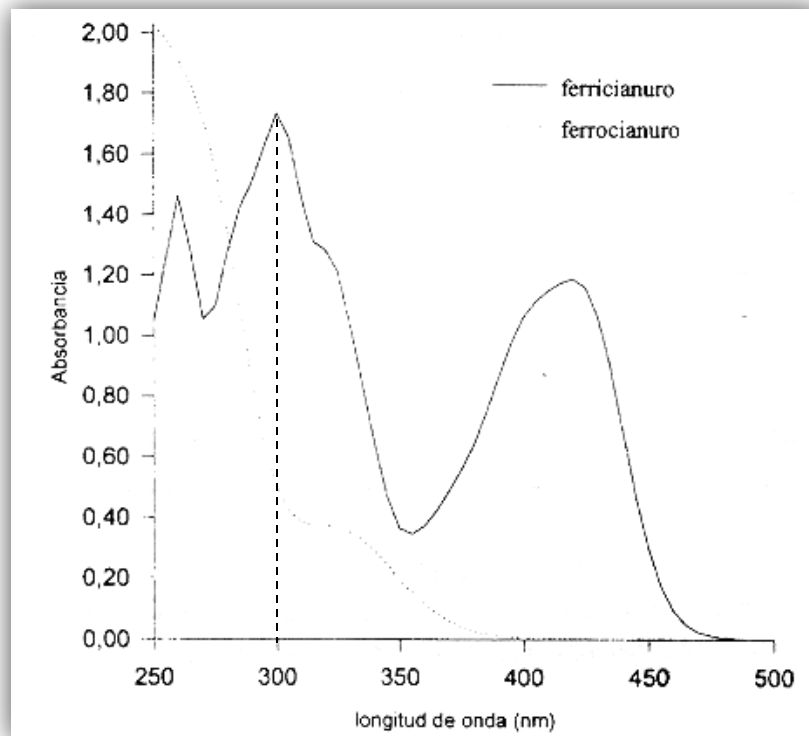


Figura 6. Ejemplo de un espectro de absorción¹¹

Como se puede observar en la figura, el ferricianuro tiene mayor absorbancia para una longitud de onda de 300 nm. En consecuencia, si se quisiera medir la concentración de esta sustancia en un espectrofotómetro, sería adecuado que la longitud de onda del haz que incide en la muestra sea igual a 300nm.

¹¹ Imagen tomada de http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0253-29481999000100002&script=sci_arttext

2.6. Color y estructura molecular

La región visible representa una muy pequeña parte del espectro fotomagnético y es generalmente considerada en una extensión que va desde los 380 a los 780 nm. Una solución u objeto posee color únicamente cuando su transmisión o absorción es parte del espectro visible.

La parte de la molécula a la que se debe la absorción de la luz se llama cromóforo. Cualquier sustancia que absorba luz visible se verá coloreada cuando refleje la luz blanca¹² o cuando esta se transmita por ella. Una sustancia absorbe ciertas longitudes de onda de luz blanca, y el ojo humano detecta las longitudes de onda no absorbidas, es decir, las reflejadas (Harris, 1992).

Existe una estrecha relación entre el color de una sustancia y su estructura electrónica. Una molécula (o ión) muestra absorción en el intervalo visible o ultravioleta cuando la radiación provoca una transición electrónica, pasando la molécula (o ión) de un estado basal a un estado excitado. La producción o cambio de color están ligados a la deformación de la estructura electrónica normal de una molécula (Marczenko, 1976). Por lo común, cuando una molécula absorbe luz con energía suficiente para provocar una transición electrónica, también ocurren transiciones vibracional y rotacional. El motivo por el cual las bandas de absorción electrónicas pueden ser muy anchas es que muchos niveles rotacionales y vibracionales se encuentran disponibles en niveles energéticos muy cercanos. Por lo tanto, una molécula podría absorber fotones en un amplio intervalo de energías.

¹² Luz compuesta por una serie de colores, cada uno de los cuales se caracteriza por una longitud de onda determinada, que son: el rojo, el naranja, el amarillo, el verde, el azul, el añil y el violeta.

2.7. Leyes de la espectrofotometría

Inicialmente el ojo humano fue el detector para comparar diferentes intensidades de luz. Los principios de la colorimetría o fotometría visual están basados en el hecho de que nuestros ojos son capaces de distinguir la intensidad de dos haces de luz con una buena exactitud.

Cuando un haz de energía radiante monocromática incide sobre una capa homogénea de una sustancia “transparente”, parte de la energía es absorbida y el resto transmitida. Si la energía radiante incidente tiene longitudes de onda de la región visible del espectro y el medio a través del cual tiene que pasar, absorbe selectivamente ciertas longitudes de onda, el color observado corresponderá a las longitudes de onda de la energía transmitida. Estas generalizaciones tienen su base cuantitativa en las leyes de la espectrofotometría.

Desde 1852 la ley conocida como *Ley de Bouguer-Lambert-Beer* ha sido usada como la base cuantitativa de la espectroscopia de absorción¹³. Ayres (1970) afirma que todas las ecuaciones matemáticas que a continuación se muestran pertenecen a la ley de Bouguer y que las contribuciones que publicó Lambert en 1760 en su libro titulado *Photometria*, ya habían sido realizadas por Bouguer con anterioridad¹⁴.

1. La *ley de Bouguer* tiene dos partes.

(a) La energía radiante monocromática transmitida en un medio homogéneo isótropo¹⁵ es proporcional a la energía radiante incidente; o bien, la relación entre la potencia de la energía radiante transmitida, P , y la incidente, P_0 , es una constante para una solución dada:

$$\frac{P}{P_0} = T$$

La constante, T , es la transmitancia.

¹³ La espectrometría de absorción se refiere a una variedad de técnicas que emplean la interacción de la radiación electromagnética con la materia.

¹⁴ Hay autores como Kenner y Busch (1979) que afirman que el primero en reportar estas fórmulas fue Lambert en 1760, ya que el trabajo que hizo Bouguer en 1729 no se había dado a conocer. Razón por la cual es la actualidad es común encontrar la ley de Bouguer-Beer o simplemente como la ley de Beer.

¹⁵ Se refiere a que las propiedades del medio deben ser las mismas en cualquier dirección.

(b) Capas de igual espesor absorben fracciones iguales de energía de una radiación incidente sobre ellas. La ley de Bouguer se explica matemáticamente por

$$A = -\log T = \alpha b$$

Donde T = transmitancia = P/P_0 ; b = camino óptico (espesor de la capa) y α = absorptividad del medio.

Si suponemos una disolución de concentración unidad, α llega a tener el valor de la absorbancia, A , por unidad de paso óptico¹⁶. El término absorbancia, A , es el logaritmo en base 10 del recíproco de la transmitancia.

$$A = \alpha b = -\log_{10} T = -\log_{10} \left(\frac{P}{P_0} \right) = \log_{10} \left(\frac{P_0}{P} \right) = \log_{10} \left(\frac{1}{T} \right)$$

Por lo que también se puede escribir

$$P = P_0 * 10^{-\alpha b}$$

Esta ley establece una relación entre la **absorbancia** y el **camino óptico** b .

2. La **ley de Beer** expresa la relación entre **absorbancia** y la **concentración** de material absorbente.

$$-\log_{10} T = \alpha c$$

Donde c es la concentración y α la absorptividad o absorbancia por unidad de concentración y unidad de campo óptico.

La ley de Beer se expresa mediante las siguientes relaciones

$$A = \alpha c = -\log_{10} T = -\log_{10} \left(\frac{P}{P_0} \right) = \log_{10} \left(\frac{P_0}{P} \right) = \log_{10} \left(\frac{1}{T} \right)$$

y

$$P = P_0 * 10^{-\alpha c}$$

¹⁶ En los espectrómetros, la longitud de paso óptico, b , se refiere al espesor de la celda.

3. Como podemos ver, Bouguer establece una relación funcional entre **absorbancia** y **camino óptico** (espesor de la celda) y Beer establece una relación funcional entre la **absorbancia** y la **concentración** para un espesor de la celda fijo. Las leyes fundamentales de la espectrofotometría se obtienen por combinaciones de la ley de Bouguer y de Beer, resultando las siguientes relaciones

$$A = abc = -\log_{10}T = -\log_{10}\left(\frac{P}{P_0}\right) = \log_{10}\left(\frac{P_0}{P}\right) = \log_{10}\left(\frac{1}{T}\right)$$

$$P = P_0 * 10^{-abc}$$

La forma de estas ecuaciones indica que la representación gráfica de la absorbancia, A (de una sustancia dada a un camino óptico constante), en función de la concentración c es una línea recta de pendiente α , y la representación de $\log_{10}T$ contra c es otra línea recta de pendiente $-\alpha$, en la cual α es la absortividad de la sustancia, con dimensiones de unidades de concentración y camino óptico. Esto es

$$A = \alpha bc$$

y

$$\log_{10}T = -\alpha bc$$

Para un espesor de la celda, b , dado.

Actualmente la combinación de ambas leyes se conoce como la **ley de Beer** (Ayres, 1970). Esta ley es aplicable a la absorción de luz en cualquier zona del espectro.

2.8. Motivos por los que falla la ley de Beer

La ley de Beer establece que la absorbancia es proporcional a la concentración de las especies absorbentes. Esto se verifica muy bien en el caso de las soluciones diluidas ($\leq 0.01M$) de la mayoría de las sustancias. Las fallas aparentes de la ley de Beer en soluciones con concentraciones más altas pueden atribuirse a cambios en las especies absorbentes o en las propiedades de la solución.

Conforme una solución se vuelve más concentrada, las moléculas de soluto interactúan entre sí debido a su proximidad. Cuando una molécula interactúa con otra es posible que cambien las propiedades eléctricas de ambas (incluyendo la absorción de luz). De ello resulta que la gráfica de absorbancia en función de la concentración deje de ser una línea recta. En el caso excepcional de una solución muy concentrada, el soluto se convierte en solvente. Es claro que no puede esperarse que las propiedades eléctricas de una molécula sean las mismas en diferentes solventes. En algunos casos, solutos que no absorben pueden interactuar con las especies absorbentes y modificar la absorptividad aparente¹⁷.

Existen también cambios químicos en el sistema, de tal manera que las especies absorbentes no representan la totalidad de la concentración. Los cambios más frecuentes son la asociación, interacción con el disolvente y efectos de pH. Otra causa frecuente puede ser la carencia de monocromatismo de la luz incidente (Ayres, 1970).

¹⁷ La absorbancia aparente también depende del índice de refracción, n , de la solución. Para concentraciones de soluto suficientemente altas, el índice de refracción cambia y la variación de la absorbancia parece no obedecer a la ley de Beer. La dependencia de la absorbancia respecto al índice de refracción está dada por $A = abc n / (n^2 + 2)^2$.

2.9. Relación entre transmitancia, absorbancia y concentración

En apartados anteriores ya se abordó, de manera general, la relación que guardan la transmitancia, la absorbancia y la concentración. Ahora, se explicará a detalle cómo se obtiene la relación logarítmica entre la absorbancia y la transmitancia ($A = -\log T$) a determinada concentración.

Cuando una muestra absorbe luz, la potencia radiante del haz de luz disminuye. La figura 7 muestra un haz de radiación paralela antes y después de que ha pasado a través de una capa de solución que tiene un espesor de b cm y una concentración c de una especie absorbente. Como consecuencia de interacciones entre los fotones y las partículas absorbentes, la potencia del haz es atenuada.

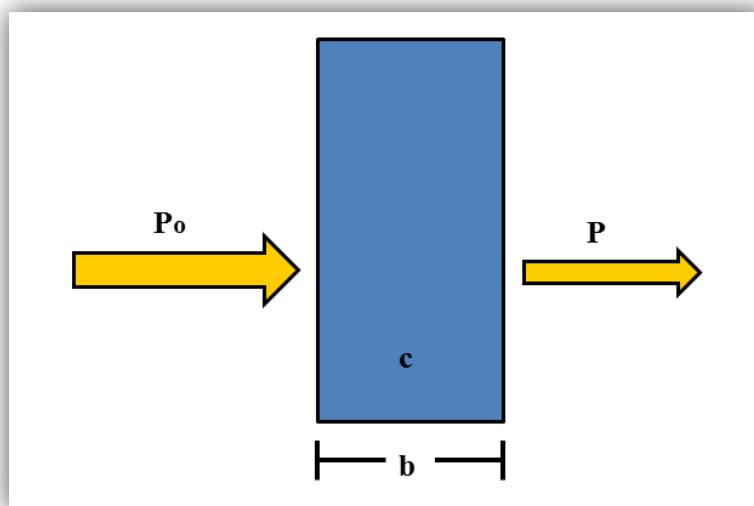


Figura 7. Paso del haz por la celda

En Harris (1992) se explica: “La ley de Beer establece que la absorbancia de una muestra es directamente proporcional a la concentración de la especie absorbente”. La fracción de la luz que pasa a través de la muestra (la transmitancia) se relaciona de manera logarítmica y no lineal con la concentración de la muestra. ¿Por qué esto? Observe el esquema que se presenta en la figura 8.

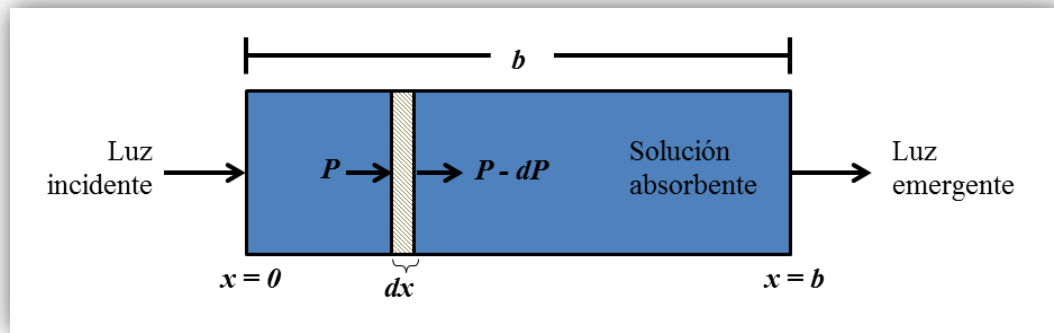


Figura 8: Esquema de la celda de un espectrofotómetro.

Imagine una luz con potencia radiante P que pasa a través de una capa infinitesimalmente delgada, cuyo espesor es dx . La disminución de la potencia dP es proporcional a la potencia incidente P , a la concentración de la especie absorbente c y al espesor dx :

$$dP = -\beta P c dx$$

Donde β es una constante de proporcionalidad. Integrando la ecuación anterior con los límites $P = P_0$ para $x = 0$ y $P = P$ para $x = b$.

$$-\frac{dP}{P} = \beta c dx$$

$$-\int_{P_0}^P \frac{dP}{P} = \beta c \int_0^b dx$$

$$-\ln P - (-\ln P_0) = \beta c b$$

$$\ln \frac{P_0}{P} = \beta c b$$

Finalmente, convirtiendo el logaritmo natural a logaritmo base 10, se obtiene:

$$\log \frac{P_0}{P} = \left(\frac{\beta}{\ln 10} \right) c b$$

Haciendo $\beta / \ln 10 = \alpha$

$$\log \frac{P_0}{P} = \alpha cb$$

Y como la transmitancia¹⁸, T , de la solución es la fracción de la radiación incidente transmitida por la solución

$$T = \frac{P}{P_0}$$

Se puede expresar

$$\log \frac{P_0}{P} = -\log \frac{P}{P_0} = -\log T = A$$

Por lo que

$$-\log T = abc$$

y

$$A = abc$$

que es la ley de Beer.

¹⁸ La transmitancia se expresa a menudo como porcentaje: $\%T = (P/P_0) * 100$

2.10. Uso de las curvas de calibración en el análisis químico

Las medidas de absorbancia (o transmitancia) se realizan comúnmente ajustando la escala de medida del instrumento al 100% de transmitancia (absorbancia cero) cuando el rayo luminoso pasa a través de un blanco, que debe ser idéntico a la muestra en todo, excepto que no debe tener el constituyente que se va a determinar. Se grafican los pares de datos (c , A) o (c , $\%T$); la curva que pase los puntos graficados es la que se conoce como *Curva de calibración* o Curva de calibrado.

La curva de calibración es un método de química analítica empleado para medir la concentración de una sustancia en una muestra por comparación con una serie de elementos de concentración conocida. Se basa en la existencia de una relación en principio lineal entre un carácter medible (por ejemplo la absorbancia en los enfoques de espectrofotometría) y la variable a determinar (la concentración). Para ello, se efectúan diluciones de unas muestras de contenido conocido y se produce su lectura y el consiguiente establecimiento de una función matemática que relacione ambas; después, se lee el mismo carácter en la muestra problema y, mediante la sustitución de la variable independiente de esa función, se obtiene la concentración de esta. La respuesta de la muestra puede cuantificarse y, empleando la curva de calibración se puede interpolar el dato de la muestra problema hasta encontrar la concentración del analito. Las curvas de calibración suelen poseer al menos una fase de respuesta lineal sobre la que se realiza un test estadístico de regresión para evaluar su bondad. Si es válida la ley de Beer, para esa sustancia a esas concentraciones, la relación debe ser una recta que pase por el origen de los ejes cartesianos.

Una curva de calibración puede hacerse de dos formas: graficando puntos de (c , T) o puntos de (c , A). En la figura 9 se muestra cómo la representación de los puntos de transmitancia vs. concentración genera la misma gráfica que la de la absorbancia vs. concentración.

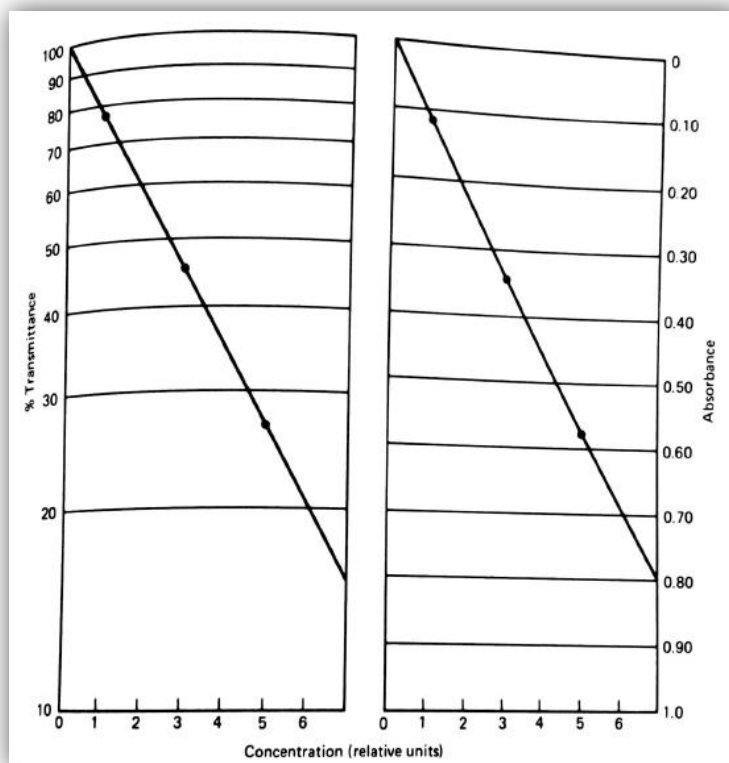


Figura 9: Curvas de calibración para la misma medición representada como concentración versus porcentaje de transmitancia en papel semilogarítmico y como concentración versus absorbancia en papel cuadrículado regular¹⁹. Puntos graficados de concentración (1,3,5); %T(78,46,27); A(0.11, 0.34, 0.57). Notar que $0.11 = -\log 0.78$, $0.34 = -\log 0.46$ y $0.57 = -\log 0.27$.

La etapa de calibración analítica se realiza mediante un modelo de línea recta que consiste en encontrar la recta de calibrado que mejor ajuste a una serie de n puntos experimentales, donde cada punto se encuentra definido por una variable x (generalmente concentración del analito de interés) y una variable y (generalmente respuesta instrumental).

Por tener una buena exactitud y confiabilidad estadística, el método más empleado para encontrar los parámetros de la curva de calibrado es el método de los mínimos cuadrados (Harris, 1992). Este método busca la recta del calibrado que haga que la suma de los cuadrados de las distancias verticales entre cada punto experimental y la recta de calibrado sea mínima o tienda a cero. A la distancia vertical entre cada punto experimental y

¹⁹ Imagen tomada de (Kenner and Busch,1979).

la recta de calibrado se le conoce como residual. En forma gráfica se representa a continuación en la figura 10.

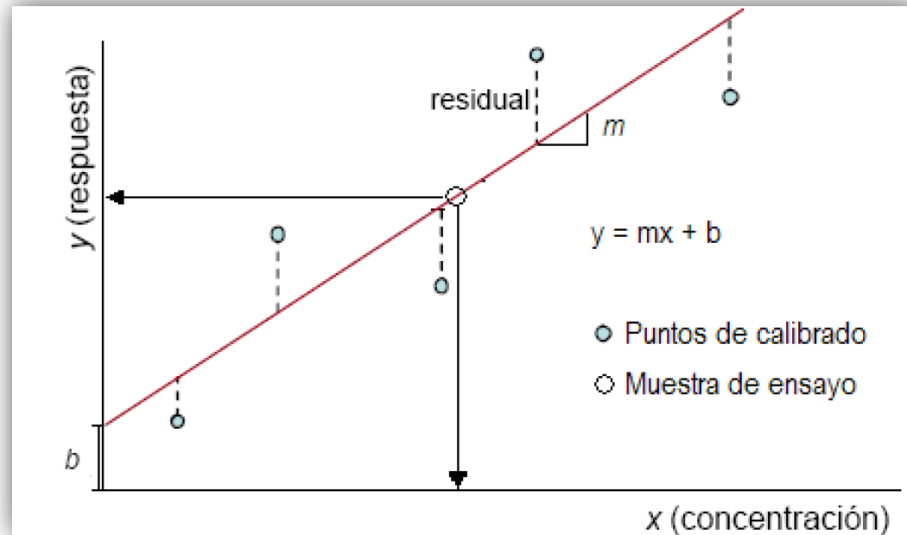


Figura 10. Curva de calibración con n igual a 5.

En la práctica, para construir la curva de calibración se utilizan disoluciones que contienen concentraciones conocidas de analito, llamadas disoluciones patrón o estándar. Las disoluciones patrón, para construir la recta de calibrado, deben ser preparadas en forma independiente a partir de una o varias soluciones madre.

Como se mencionó anteriormente, en que en la práctica es muy importante efectuar la medida del blanco. Se llaman disoluciones blanco o simplemente blancos a las disoluciones que contienen todos los reactivos y disolventes usados en el análisis, pero sin el analito. Los blancos miden la respuesta del procedimiento analítico a las impurezas o especies interferentes que existan en los reactivos o, simplemente, a las especiales características del instrumento de medida.

2.11. Linealidad de la curva de calibración

La linealidad de la curva es un requerimiento fundamental en la práctica del análisis químico cuando se realizan curvas de calibración. En general la linealidad no se cuantifica, pero se observa por simple inspección o mediante pruebas significativas de no linealidad. La no linealidad se elimina mediante la selección de un intervalo de operación más restringido. Para proponer la recta que ajuste a los puntos, es común que se haga el método de mínimos cuadrados. Este cálculo se realiza fácilmente con una calculadora científica sencilla por lo que normalmente no se recurre a hacer el cálculo manualmente. Como criterio de aceptación de la linealidad a partir de la curva de calibración se considera $r^2 > 0.98$ (Valenciaga, De Oliveira, La O, Chongo, Oramas & Cairo, 2007).

A modo de ejemplo, en la figura 11 se muestra la curva de calibración obtenida al representar la absorción de radiación (absorbancia, A) de disoluciones estándar de albúmina sérica para diferentes concentraciones.

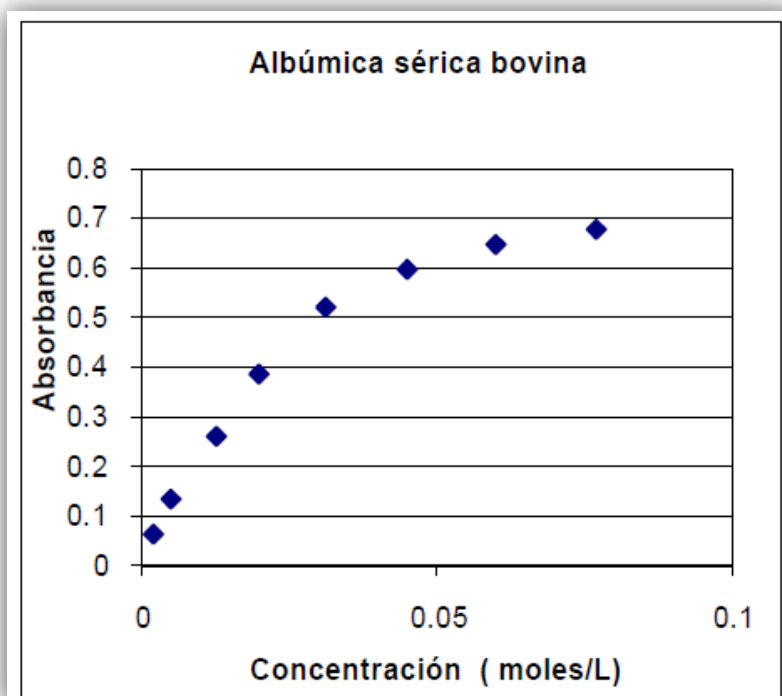


Figura 11. Mediciones de la absorbancia de la albúmina sérica bovina a diferentes concentraciones.

En esta curva se observa linealidad hasta valores de absorbancia iguales a 0.4. El coeficiente de correlación de la curva considerando únicamente estos cuatro puntos es igual a 0,9987 mientras que si se consideraran todos ellos el coeficiente de correlación sería igual a 0,9382. La ecuación de esta curva en este intervalo lineal es:

$$A = 0.0036 + 17.584C$$

A partir de la ecuación de la recta obtenida es posible calcular la concentración del analito en una muestra de concentración desconocida. Para ello se requiere efectuar la medida de la absorbancia en el espectrofotómetro y despejar el valor de la concentración en la ecuación de la recta.

Para concluir este capítulo, presentamos un esquema, en la figura 12, del proceso que sigue el ejercicio de la práctica espectrofotométrica (como la nombran los autores del esquema). Subrayamos que fue realizado por un grupo de socioepistemólogos del Instituto Tecnológico de Acapulco, al abordar el tema de la espectrofotometría en la modelación (Galicia, Rosas, García & Arrieta, 2011).

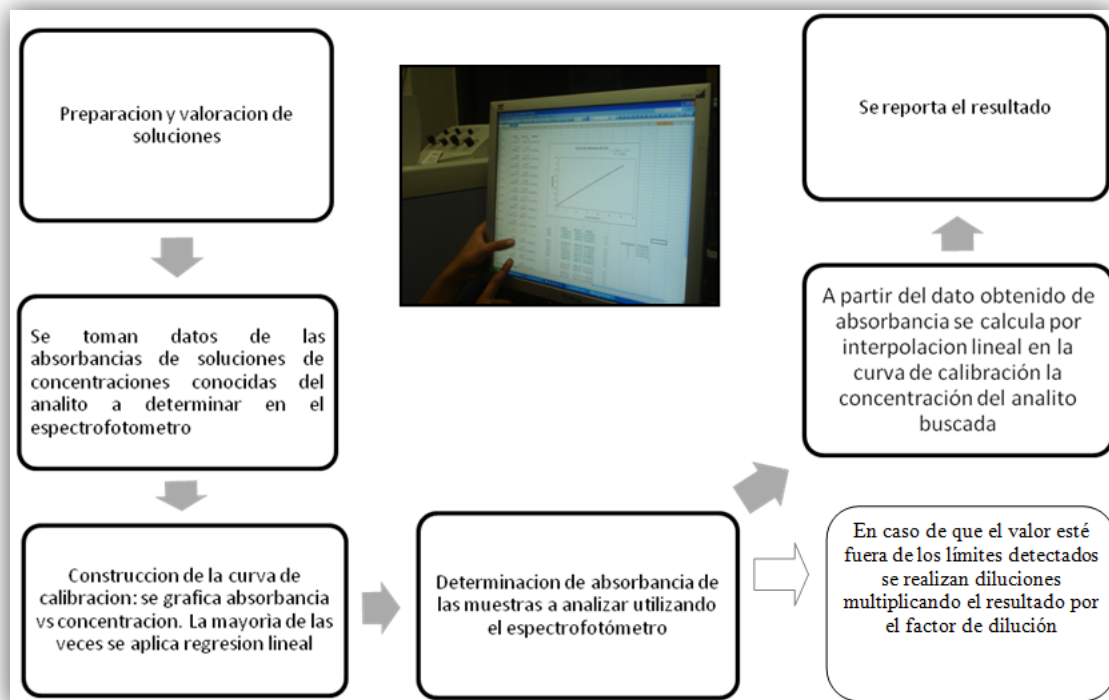


Figura 12. Esquema general de la práctica espectrofotométrica.

CAPÍTULO 3

MARCO TEÓRICO

“(…) Una de las condiciones básicas del razonamiento científico es que las teorías deben ser apoyadas por los hechos”.

IMRE LAKATOS

(1922-1974)

La percepción, sin comprobación ni fundamento, no es garantía suficiente de la verdad.

BERTRAND RUSSELL, *Misticismo y lógica*

(1929)

En este apartado hablaremos sobre aquello que sustentará teóricamente al presente trabajo; así, daremos a la investigación un sistema coordinado y coherente de conceptos, constructos y proposiciones que permitirán abordar el problema, integrando a la investigación dentro de un ámbito donde cobre sentido.

La mirada a la problemática se hizo desde la Teoría de la Socioepistemología, ya que el presente estudio representa un problema de gran complejidad, donde cada parte que incide sobre él lo hace en una forma sistémica, donde nuestro centro es el sujeto que interpreta una gráfica en una comunidad específica, en un escenario determinado, en un tiempo y espacio dados.

Aquí describimos qué es la Teoría de la Socioepistemología, cuál es su objeto de estudio y por qué es factible usarla para contestar nuestras preguntas. En los apartados siguientes se muestra a la Socioepistemología en diferentes comunidades profesionales, y finalmente se da una semblanza muy general sobre cómo algunas investigaciones han abordado a la noción de gráfica.

3.1. La Teoría de la Socioepistemología

La Matemática Educativa y en particular la Teoría de la Socioepistemología (Teoría Socioepistemológica), asume como problemática aquella concerniente a la evolución del estudio de los fenómenos didácticos que suceden cuando los saberes matemáticos constituidos socialmente, en ámbitos no escolares, se introducen al sistema de enseñanza obligándoles a una serie de modificaciones que afectan a su estructura y a su funcionalidad, de manera que afectan también las relaciones que se establecen entre estudiantes y profesores (Cantoral & Farfán, 2003a).

La Socioepistemología es una teoría de naturaleza sistémica que permite tratar a los fenómenos de producción y difusión del conocimiento desde una perspectiva múltiple al incorporar el estudio de las interacciones entre la epistemología del conocimiento, su dimensión sociocultural, los procesos cognitivos asociados y los mecanismos de institucionalización vía la enseñanza. Tradicionalmente las aproximaciones epistemológicas asumen que el conocimiento es el resultado de la adaptación de las explicaciones teóricas con las evidencias empíricas, ignorando en sobremanera el papel que los escenarios históricos, culturales e institucionales desempeñan en toda actividad humana. La Socioepistemología por su parte, plantea el examen del conocimiento socialmente situado, considerándolo a la luz de sus circunstancias y escenarios sociales (Cantoral & Farfán, 2003a, 2004).

En Cantoral (2013) se explican a detalle las cuatro dimensiones desde las que analiza de manera sistémica la Socioepistemología: La dimensión didáctica está relacionada con la costumbre didáctica, ya que trata con la matemática escolar como objeto de estudio y sirve fundamentalmente para localizar y explicar al dME; la dimensión epistemológica se ocupa de los análisis sobre problematización del saber, la localización de fenomenologías y los constructos característicos; la dimensión cognitiva se ubica al nivel de los procesos mentales que se presentan al nivel de los actores educativos en su acción por conocer, tanto en los procesos de razonamiento relativos a un saber, o en el pensamiento en un sentido amplio; y finalmente, la dimensión social está centrada en los roles que juegan los actores y en el papel que tiene el saber en tanto construcción social del conocimiento en sus tareas principales (la construcción de consensos, los usos y las prácticas y la elaboración de instrumentos mediadores).

Esta teoría se ocupa específicamente del problema que plantea la construcción social del conocimiento matemático y de su difusión institucional. Se caracteriza por ser una teoría contextualizada, relativista, pragmática y funcional. No busca verdades, sino que caracteriza fenómenos didácticos en un sentido amplio; el método de estudio de dichos fenómenos dependerá exclusivamente del escenario contextual (Cantoral, 2013). Asume como base filosófica de la construcción del conocimiento la postura pragmática, que establece que el uso de un objeto es el que produce su significado (Gómez, 2009).

Esta teoría ha hecho, a diferencia de otras, un cambio de centración, de los objetos a las prácticas, que permite enfatizar en aspectos funcionales de la matemática; es decir, en el desarrollo de usos del conocimiento, más que pensar en las actividades didácticas como actividades de servicio. Por lo que debemos tomar en cuenta que un libro o un currículo refleja una manera particular de ver la matemática, construida institucionalmente; pero para otro individuo o grupo social, dicha matemática varía según sus necesidades, sus explicaciones, sus usos y su funcionalidad (Gómez, 2009). Dentro de la Socioepistemología se han hecho planteamientos novedosos, poniendo al centro de la discusión a las prácticas sociales asociadas a determinado conocimiento y no únicamente a los conceptos de forma aislada. De esta manera, se desea romper aquella centración en los objetos, lo que no quiere decir que se dejen de considerar importantes, sino más bien interesa mirar aquellos usos del conocimiento matemático que propician en el humano una resignificación del conocimiento (Marín, 2014).

Una de las funciones de la Teoría Socioepistemológica es hacer un rediseño del dME, por medio de una matemática funcional basada en el uso del conocimiento matemático para crear un vínculo entre la matemática escolar y la matemática cotidiana (Cordero, 2013). Esta teoría ubica al conocimiento escolar en los planos de lo funcional y social, intentando lograr que se integre orgánicamente al individuo y así se resignifique permanentemente (Cordero, 2003).

Actualmente la “fórmula” empleada en el aula de matemáticas se basa en memorizar a los objetos matemáticos y en construir “buenas” explicaciones para que se aprendan dichos objetos. Estos enfoques dirigen la atención hacia el objeto matemático, tomándolo independiente de su construcción y sin considerar el proceso social que la permitió su

construcción. La Socioepistemología, como teoría que estudia estos enfoques, se cuestiona por la forma en que un ciudadano usa la matemática desde su cotidiano en una situación específica (Torres, 2013), pues considera como plano central lo social y cultural que rodea al humano. Dependiendo de dónde se sitúa el humano, será la construcción y uso del conocimiento matemático, ya que se considera que el conocimiento que emerge y su uso es situacional (Marín, 2014). Asume a las *prácticas sociales* como las acciones de un grupo social que tiene significados propios e intención, ubicado en un contexto histórico o actual, que actúa de acuerdo con ideologías predominantes y utiliza a la matemática como herramienta para construir conocimiento (Cordero, 2001).

Recientemente se han venido haciendo trabajos en el área de Matemática Educativa que abordan estudios de comunidades profesionales usuarias del conocimiento matemático, por ejemplo de ingenieros, toxicólogos, actuarios, economistas, biólogos, entre otros. Estos trabajos realizados desde la Socioepistemología centran su atención en la observación de prácticas de los profesionales en su trabajo para dar cuenta de la forma en que viven los conocimientos matemáticos en el campo laboral. Ellos han quitado el foco, pero sin desatenderlos, de la construcción social de conceptos matemáticos específicos como la integral, la derivada, el vector, etc.

La Teoría Socioepistemológica no mira a los conceptos y sus diferentes estructuraciones de manera aislada, sino atiende a las prácticas que producen o favorecen la necesidad de tales conceptos, es decir, a su construcción social. Intenta crear un modelo que refiera la construcción social del conocimiento matemático y poner al descubierto sus causas reales: el reto es formular epistemologías sobre las prácticas sociales que generan el conocimiento matemático (Cantoral & Farfán, 2003a). Para lograr tal cometido, se reconoce al humano haciendo matemáticas en vez del producto hecho por el humano. Considerar la producción matemática implica explicar la matemática desde la matemática misma; en cambio, fijarse en el humano haciendo matemáticas obliga a mirar otros dominios científicos y prácticas de referencia donde se resignifica el conocimiento matemático; por ejemplo, en esta investigación nos interesamos en mirar a la matemática presente en la labor de los analistas químicos cuando determinan concentraciones de especies químicas usando una gráfica llamada curva de calibración. Lo anterior es factible debido a que esta teoría se ha

interesado también en estudiar los procesos de transferencia del conocimiento matemático escolar a la práctica de las comunidades profesionales con el propósito de encontrar explicaciones acerca de las “circunstancias” que posibilitan y, aún más, favorecen una transición de la matemática escolar a una matemática funcional en el ámbito laboral (López-Ballesteros, 2009). Por lo expuesto aquí, es que nuestro trabajo se sustentará usando esta teoría y no otra, porque esta teoría mira el conocimiento matemático desde una perspectiva más amplia que le permite analizar no solo a la matemática escolar, sino a la matemática presente en otros escenarios.

3.2. La Socioepistemología en diferentes escenarios

Iniciamos subrayando que nos interesa estudiar cómo se construye conocimiento no únicamente en la escuela, sino en escenarios diferentes, para así tener elementos que nos den luz para el rediseño del dME. Para esto es necesario ubicar una dimensión social que problematice la relación de los dominios disciplinares de la ciencia y de la vida cotidiana. Abordar dicho propósito requiere entender al conocimiento matemático como una construcción social, lo que conlleva cuestionar no en sí a la matemática, sino su función en la sociedad.

Se considera que si hay conocimiento, existe una comunidad que lo construye; Marín (2014) se refiere a esta idea como una Comunidad de Conocimiento (CC), donde importan de manera sustancial sus características comunes, interacciones, cosmovisión, lugar geográfico y actividades; pero dado que no se desea caracterizar a las personas de una comunidad, sino al conocimiento de las personas que componen a una comunidad específica, el foco será el conocimiento mismo; de manera más específica, el conocimiento matemático que ocurre en esta comunidad, denominándola como Comunidad de Conocimiento Matemático.

Según Marín (2014), todo ciudadano pertenece al menos a una CC, dependiendo de su profesión u oficio, o su ámbito laboral o institucional. Con relación a lo anterior, en esta investigación nos interesa indagar sobre cómo el analista químico usa el conocimiento, por lo que de manera específica, nos centraremos en la interpretación y uso de las curvas de calibración del ciudadano que pertenece a la Comunidad de Conocimiento Matemático del análisis químico. En palabras de Cantoral (2011), *“la Socioepistemología no es una teoría preexistente que se aplique a cualquier realidad; sino es una teoría que se ha ido construyendo a partir del estudio de la realidad”*. Por lo que es factible estudiar a diferentes comunidades, con diferentes escenarios desde la mirada de la Socioepistemología.

La afirmación de que la matemática se ha quedado en el plano de lo utilitario, plantea la necesidad de poner la mirada en los escenarios de las prácticas profesionales en las que la matemática, no siempre evidente del contexto, ha superado ese estatus para presentarse ahora como funcional e inseparable a la actividad, con el objeto de estudiar y entender los procesos

que han facilitado su apropiación e incorporación a la actividad cotidiana extraescolar (López-Ballesteros, 2009).

La matemática funcional es aquel conocimiento matemático que deberá integrarse a la vida para transformarla, reconstruyendo significados continuamente en la vida. Esta funcionalidad no se podrá alcanzar en el sistema educativo, si no se amplían los modelos de conocimiento que ocupa la didáctica de las matemáticas. Es necesario entender que la matemática se ha desarrollado porque ha estado al servicio de otros dominios científicos y de otras prácticas de referencia, donde se ha resignificado (Cordero, 2005). Los cuestionamientos acerca del aprendizaje y enseñanza de la matemática, así como de su construcción, solo tenían sentido entenderlos dentro del dominio matemático. Sin embargo, ha sido muy importante ampliar esta problemática hacia otros dominios o prácticas de referencia donde la matemática adquiere sentido y significación (Cantoral & Farfán, 2003a).

Trabajos como los de Parra (2008), García-Torres (2008), Tuyub (2008), Rodríguez (2009), López-Ballesteros (2009), Ramos (2010), Vázquez (2011), López (2012), Mendoza (2013), Torres (2013) y Marín (2014); empiezan a dar evidencia de estos usos del conocimiento matemático en otros dominios como son la Economía, la Microeconomía, la Toxicología, la Ingeniería biomédica, la investigación de mercados, la Biología, la Ingeniería química o el mismo Cotidiano. En general, estas investigaciones comparten el objetivo de aportar marcos de referencia para reorganizar a la matemática escolar, es decir, identificar categorías del conocimiento matemático que permitan elaborar diseños de situaciones más *ad hoc* a las realidades del trabajo de los futuros profesionales, puesto que se ha dado cuenta que se requiere entender la construcción del conocimiento matemático, pero del ciudadano en su cotidiano (Mendoza, 2013).

Trabajos de este tipo han abierto una línea de investigación de corte socioepistemológico acerca de la naturaleza de la construcción social de conocimiento en escenarios profesionales, dando luz de los procesos de institucionalización, la función normativa de la práctica social y los mecanismos de construcción del conocimiento. La investigación que aquí se presenta se desarrolla en esta misma línea y aborda el estudio de los procesos de transferencia de conocimiento matemático escolar a la práctica profesional, a

partir de la observación de las prácticas en un ámbito profesional específico: la práctica de los analistas químicos.

Así pues, la presente investigación se fundamenta en la Teoría de la Socioepistemología por interesarse en estudiar al ciudadano en su vida diaria haciendo matemáticas y usándolas, y no únicamente a la matemática misma. De esta manera, es posible contemplar diversos escenarios y unidades de análisis diferentes.

3.3. Las gráficas

3.3.1. Las gráficas desde la mirada Socioepistemológica

Dado que nuestro interés está puesto en la identificación del uso de una gráfica que en la Comunidad de Conocimiento Matemático del análisis químico recibe el nombre de Curva de calibración, dedicaremos este apartado para explicar a lo que nos referimos cuando hacemos alusión al uso de gráficas desde una postura socioepistemológica.

Dependiendo del significado y del sentido que se le da a la graficación, se pueden observar en la literatura especializada y en libros de texto diversos usos de las gráficas. Cantoral y Montiel (2001) explican que por lo común en los libros de texto las gráficas aparecen vinculadas a la noción de función, pues se acepta que las gráficas son una forma de representar el concepto de función, en estos casos, se hace énfasis en procedimientos o rutinas para trazar la gráfica como: tabular datos, ubicar parejas ordenadas, identificarlas en el plano y unir puntos. Casi nunca la atención está propiamente en la gráfica, sino más bien en el algoritmo para construirla. Al respecto, Castañeda, González y Molina (2013) mencionan que incluso es común encontrar que en las pruebas finales los ejercicios buscan comprobar que el estudiante es capaz de graficar.

Existen investigaciones en la Matemática Educativa que explican a la gráfica como una representación del concepto de función o como un proceso para construir el objeto, que utilizan, por ejemplo, perspectivas semióticas o cognitivas (Duval, 1988; Lacasta & Pascual, 1998; Dubinsky & Harel, 1992); sin embargo, existen pocos estudios que expliquen los usos de las gráficas y sus desarrollos. En algún sentido, sabemos su construcción, pero no su uso (Cordero, Cen & Suárez, 2010). La graficación en la matemática escolar, por lo general, es considerada como la representación de expresiones analíticas o representación de datos, y no como la idea de que a través de ella se puede generar conocimiento, lo cual no es trivial, ya que se requiere de crear situaciones que tengan precisamente esa intención. Bajo esta idea es cómo surge, por ejemplo, la epistemología del uso de las gráficas de Parra (2008), en donde al crear una intencionalidad para las gráficas lleva a que habrá una función para ellas. Bajo esta dirección se han realizado trabajos, a la luz de la Socioepistemología, que dan cuenta que la graficación puede ser considerada con tal estatus, este es, como una práctica

generadora de conocimiento matemático. Contrario a las investigaciones que parten de premisas que colocan a la matemática formal en el papel central, las que son hechas con Socioepistemología centran su atención en los usos y desarrollo de prácticas de la graficación y, de este modo, han posibilitado un acercamiento a la matemática funcional (Dolores & Cuevas, 2007).

La graficación puede llevar a incorporar significados a sus procedimientos que le permitirán al usuario diferentes construcciones mentales que pueden ser reflejadas en sus argumentos alejados de formalismos y basados en su propia experiencia. Estos significados son igual de válidos que los que son realizados con rigor (Parra, 2008). La graficación puede llevar a cabo múltiples realizaciones y hacer ajustes en su estructura para producir un patrón o generalización deseable; es un medio que soporta el desarrollo del razonamiento y de la argumentación (Cordero, 2006). Es una práctica institucional que se desarrolla en el ámbito escolar y se resignifica en ámbito profesional, y no solo una representación del concepto de función. El punto fino es ver a la graficación no como un concepto, sino como una práctica o uso ante una situación.

Según Cantoral y Montiel (2001), hay dos formas clásicas de entender a la enseñanza de la graficación: una asume que la graficación es una técnica o conjunto de técnicas que permiten bosquejar la gráfica de una función; otra, menos difundida, entiende a la graficación como una forma de interpretar el sentido y significado de sus propiedades desde una perspectiva cognoscitiva.

Las gráficas no solo son objetos que se enseñan y usan en la escuela, sino que su aprendizaje, resignificación y uso se extiende a los dominios sociales, en donde la gráfica no es únicamente un objeto matemático, sino que es un portador de información que es requerida por el ciudadano común y que cuando lee una gráfica, su interpretación está íntimamente ligada al contexto y a los motivos sociales. Al respecto Mercedes Neri dice que: *“Las gráficas salen de un contexto escolar para ser usadas como herramientas para informar, convencer, comparar, predecir, etc. de manera que sirven a un grupo social para alcanzar sus metas específicas”*. (Neri, 2012, p. 17).

En la presente investigación mostramos al uso de las gráficas como una práctica. Este tipo de trabajos ayudan a orientar nuevas concepciones de enseñanza y aprendizaje, ya que trabajamos con un conocimiento funcional: la curva de calibración, una gráfica que los analistas químicos usan comúnmente en su vida profesional. Es de esperarse que los analistas a los que se les realizará la entrevista den argumentos poco formales, basados en su propia experiencia, que puntualicen más en lo funcional y resten importancia a cuestiones teóricas. El significado de los conceptos y objetos matemáticos será función pues, de la actividad que se desarrolle.

Flores (2005) señala que habitualmente la graficación ha sido considerada como la representación del concepto de función incluso desde el nivel básico. Argumenta que las gráficas, como representaciones del concepto de función, no responden hacia las prácticas de los grupos humanos cuando trabajan gráficas, ni a los usos de las gráficas (resignificaciones) que estos grupos pudieran desarrollar de acuerdo a sus participaciones institucionales. Señala que la graficación vive y se resignifica en el ámbito escolar y social, expresado a través de su uso en el dME. Dicho uso tiene ciertas formas y funcionamientos que le dan, a la graficación, categorías que se despliegan de su desarrollo en el paso de la vivencia escolar y social. Hace un resumen que muestra dichas categorías del uso que se les da a las gráficas en los libros de texto de nivel básico. Estas son: *Reproducción y comparación de trayectorias*, *Análisis de información*, *Reproducción de figuras*, *Ubicación y desplazamiento*, *Distribución de puntos* y *Relación curva-expresión algebraica*.

Los usos de las gráficas dependen de una situación específica, por lo que tiene sentido formular que las gráficas tienen una función orgánica en la situación expresada de alguna forma (Flores, 2005).

Tradicionalmente en el sistema educativo hemos considerado el proceso del aprendizaje como una actividad ubicada en el aula, separada de otras actividades sociales, proceso en el que se considera al aula como el único espacio donde el que sabe, el profesor, dota de conocimientos al que aprende, el alumno, sin que se consideren algunos aspectos como la experiencia propia del estudiante y el aprendizaje desde su perspectiva, desestimando así la participación activa del estudiante. En el ámbito de la enseñanza de las matemáticas resulta aún más complejo el vincular la actividad escolar con la actividad social.

El alumno se convence, desafortunadamente, de que la práctica del aprendizaje de las matemáticas es un verbo que no se conjuga con las demás prácticas socialmente compartidas. Las prácticas socialmente compartidas resignifican el conocimiento en cuestión, donde se manifiesta el uso del conocimiento en las situaciones específicas (Flores, 2005) y en distintos escenarios.

El dominio matemático obliga a explicar la matemática desde ella misma y, en consecuencia, soslaya a lo humano y a los sentidos de todo el saber matemático. Se trata entonces de identificar o construir aquellos marcos o prácticas de referencia en los que se manifieste el uso del conocimiento matemático. Ahí aparecerán elementos que no corresponden a las justificaciones razonadas que norman alguna estructura lógica, sino que atañen a la utilidad del participante en la situación específica (Cordero et al, 2010). Es por ello que nuestra mirada no está en el conocimiento matemático, sino el estudio de la función de dicho conocimiento.

Cordero et al. (2010) presentan los usos que se le dan a la gráfica en el nivel de Bachillerato. Estos son: el *uso distribución de puntos*, el *uso comportamiento geométrico*, el *uso análisis de la curva*, el *uso cálculo de áreas y volúmenes*, y el *uso de análisis de información*. Estos usos de la gráfica son categorías donde los funcionamientos y formas debaten entre sí, lo cual permite que se vayan transformando y modificando. Según Cordero (2008), esto conlleva un desarrollo de usos, un concepto que significa que hay una resignificación de la gráfica porque se forman construcciones, se hacen distinciones entre ellas, se ponen en juego clases de actividades y usos del conocimiento donde no solo se da un lenguaje de herramientas, sino también se desarrolla.

La investigación aquí presentada, dará cuenta de cómo se usan las gráficas en una comunidad específica, fuera del aula, en donde lo que se conoce de las gráficas se aplica en el día a día y lo que no se aplica posiblemente se olvide o se le reste interés. En este estudio, la gráfica es usada para comunicar o transmitir un mensaje que no está en un contexto escolarizado. Aquí las gráficas son portadoras de información que será interpretada dependiendo de la mirada y la formación de quien la lea, tienen un significado y un sentido del cual se puede obtener información, tomar decisiones y hacer análisis de algún suceso

específico. Trabajos de este tipo son emergentes en nuestra disciplina, particularmente en la Socioepistemología. Al respecto Cordero et al. (2010) mencionan:

“hay que destacar que el conocimiento matemático no solo se construye o se ha construido en el dominio matemático, sino que se ha valido de otros ámbitos; por ende, hay otras prácticas de referencia que dan cuenta de la matemática. Esto quiere decir que debemos explorar otros dominios científicos con el fin de hallar evidencias sobre los usos de la gráfica que ahí se presentan y resaltar las similitudes que alternan entre ellas. Lo anterior nos permitirá crear un marco de referencia sobre los usos de las gráficas donde se resignifique el conocimiento matemático. Habrá que avanzar en esa dirección en investigaciones posteriores”. (p. 210).

De ahí la necesidad y pertinencia de investigaciones como esta.

3.3.2. Una síntesis necesaria de nuestra postura

En nuestra postura no nos limitamos en concebir a la gráfica como el objeto matemático que representa a una función, sino como una forma de interpretar el sentido y significado de las propiedades de esta desde una perspectiva cognoscitiva. Afirmamos que la gráfica es un objeto portador de información que es requerida por el ciudadano común, cuya interpretación está íntimamente ligada al contexto y a sus motivos sociales. Lo anterior implica que las gráficas no solo sean objetos que se enseñan y usan en la escuela, sino que su aprendizaje, resignificación y uso se extiende a los dominios sociales y disciplinares. Vemos a la graficación, en acorde con otros trabajos hechos con la teoría Socioepistemológica, no como un concepto, sino como una práctica o uso ante una situación.

Además, entendemos a la graficación como un medio que soporta el desarrollo del razonamiento y de la argumentación, y como un objeto generador de conocimiento, desatendiendo a lo tradicional que la concibe como algo que se usa o se aprende únicamente con fines escolares. La mira es poner a la graficación no como una entidad objetivada, sino como objetivable. Verla de la primera forma causará únicamente una significación, mientras verla de la segunda causará resignificaciones progresivas y continuas.

Aunque sí nos interesa, el foco no está en el conocimiento matemático, sino en el estudio de la función de dicho conocimiento. Para el caso que nos ocupa en esta investigación, no estudiamos las gráficas de las funciones como un desarrollo representacional del concepto de función, sino el desarrollo del uso de una gráfica en las prácticas profesionales de una comunidad específica: la de los analistas químicos.

CAPÍTULO 4

ASPECTOS METODOLÓGICOS DE LA INVESTIGACIÓN

Es un error capital teorizar antes de tener datos. Sin darse cuenta, uno empieza a deformar los hechos para que se adapten a las teorías, en lugar de adaptar las teorías a los hechos.

ARTHUR CONAN DOYLE,

Sherlok Holmes en

Escándalo en Bohemia

(1891)

En una investigación se precisa de un método que dé coherencia a las técnicas para la toma de datos, este debe tener la particularidad de ser replicable. El método dependerá del tipo de investigación que se realice, pues no es lo mismo realizar una investigación de corte bibliográfico a otra de tipo cualitativo, o bien, histórica o cuantitativa. Una vez tomados los datos, se deben de interpretar y analizar, con ella se transforman los datos en resultados interpretables para la investigación. Esto se logra, sin duda alguna, mediante la articulación teórica, a través del uso de los constructos teóricos abalados teóricamente como herramientas de interpretación plausible (Reyes-Gasperini, 2011).

Para la toma de datos se hicieron entrevistas de tipo participativas²⁰, videograbaciones y grabaciones de voz, intervenciones reflexivas por parte del investigador y reflexiones sobre las videograbaciones; todo esto bajo las técnicas del método de estudio de casos. Decidimos hacer registro por vídeo para analizar los aspectos de tipo gestual y por voz para tener un doble registro sobre los argumentos, además de conservar los escritos que los entrevistados hicieron con el fin de corroborar la información. Los datos obtenidos se analizaron y articularon, guiado por la literatura inscrita en el marco de la Teoría de la Socioepistemología, a fin de dar cuenta de los resultados obtenidos.

En este capítulo se describirá brevemente el método empleado, se explicará lo referente a los estudios exploratorios que fue necesario realizar previo a aplicar el diseño de la guía de entrevista final, se expone el perfil de los entrevistados y se muestra el instrumento que se usó. Este está conformado por curvas de calibración y preguntas que giran en torno a la interpretación y uso de las mismas; a la par se explica el objetivo de cada pregunta que compone al instrumento y se hace un análisis *a priori* de la posible respuesta.

²⁰ La entrevista participativa es aquella en la que el investigador y la persona entrevistada participan de manera activa. El primero proporciona una guía tentativa de entrevista (que puede modificarse en función del desarrollo de ésta) y da a conocer al entrevistado los objetivos de la investigación para interesarlo en que participe activa y crítica. La persona que va a ser entrevistada debe estar consciente de la importancia de su participación en el trabajo y, además, saber que puede ampliar la información, o exponer hechos que a su juicio son relevantes para que el investigador pueda comprender mejor la situación o fenómeno que estudia. También se le conoce como entrevista dialógica (Rojas-Soriano, 2013).

4.1. El método a seguir

Como dijimos, el método que usamos para llevar a cabo esta investigación es el método de estudio de casos. Este método es una estrategia metodológica de investigación científica, útil en la generación de resultados que posibilitan el fortalecimiento, crecimiento y desarrollo de las teorías existentes o el surgimiento de nuevos paradigmas científicos; por lo tanto, contribuye al desarrollo de un campo científico determinado (Martínez, 2006). Yin (1989) citado en Martínez (2006), argumenta que el método de estudio de casos es una herramienta valiosa de investigación, y su mayor fortaleza radica en que a través del mismo se mide y registra la conducta de las personas involucradas en el fenómeno estudiado.

El análisis de casos a profundidad, en tanto que es un enfoque cualitativo, trata de comprender el proceso por el cual tienen lugar ciertos fenómenos. La selección teórica o hecha a propósito de este tipo de investigaciones facilita la selección deliberada de aquellos casos que se revelen críticos para valorar una teoría ya existente o su desarrollo. Aunado a esto, la metodología cualitativa consiste en la construcción o generación de una teoría a partir de una serie de proposiciones extraídas de un cuerpo teórico que servirá de punto de partida al investigador, para lo cual no es necesario extraer una muestra representativa (como en la cuantitativa), sino una muestra teórica conformada por uno o más casos (Martínez, 2006). Por estas razones es que nos hemos dado la libertad de mostrar en el capítulo de análisis de resultados únicamente lo observado con dos entrevistados, esta fue nuestra muestra teórica.

La cuestión de la generalización de los estudios cualitativos (incluido el estudio de caso) no radica en una muestra probabilística extraída de una población a la que se pueda extender los resultados, sino en el desarrollo de una teoría que puede ser transferida a otros casos. De aquí que algunos autores prefieran hablar de transferibilidad, en vez de generalización, en la investigación de naturaleza cualitativa (Maxwell, 1998, citado en Martínez, 2006). En Martínez (2006) y en Reyes-Gasperini (2011) se muestra información a detalle referente a este método.

En la figura 13 mostramos un esquema comprimido de las principales tareas que se realizaron para elaborar la presente investigación.

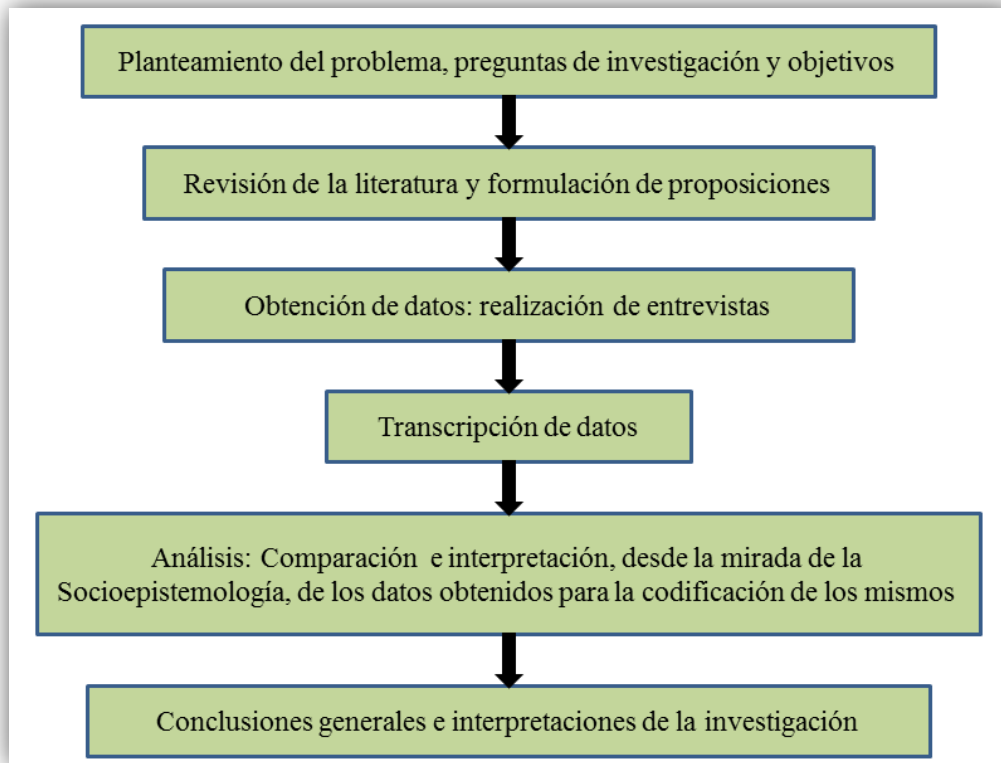


Figura 13: Procedimiento metodológico de la investigación

4.2. Estudios exploratorios

Realizamos un primer estudio, a nivel exploratorio, con cuatro profesionistas expertos en el área del análisis químico que actualmente trabajan en la industria. Se les aplicó una entrevista piloto. De sus respuestas, del análisis de las mismas y de lo que se observó de manera general, se obtuvo información para realizar la guía de la entrevista final que aquí reportamos y analizamos.

Así pues, el estudio sirvió como base para confirmar, modificar, pulir y precisar algunos aspectos de la guía de la entrevista inicial. De este modo, se le dio mayor profundidad a ciertas preguntas, se indagó sobre algunos aspectos que salieron a flote en este primer acercamiento, se suprimieron preguntas que hicieron que esta primera entrevista se fuera por otros caminos y se obtuvo evidencia de que algunos cuestionamientos efectivamente encaminaban a dar respuesta a nuestras preguntas de investigación.

Cuando se tuvo el diseño perfeccionado de la guía de la entrevista, se le volvió a aplicar a uno de los profesionistas. En esta segunda ocasión nos dimos cuenta que deberíamos buscar a otros profesionistas con características más específicas, ya que a pesar de que se observaron aspectos interesantes, no eran con el grado de profundidad que queríamos. Es decir, ya no bastaba con que fuera un profesionista que trabajara o hubiera trabajado en el área de análisis químico. Ahora requeríamos de uno que tuviera experiencia en el uso e interpretación del objeto matemático que estábamos estudiando.

Así fue que continuamos la búsqueda. Encontrar a alguien con las peculiaridades requeridas no fue para nada fácil. El entrevistado debería tener las cuatro siguientes características: tener una profesión con una sólida formación en química, trabajar o haber trabajado en la industria en el área de análisis químico, haber trabajado con espectrofotómetros y tener experiencia en el uso e interpretación de curvas de calibración.

Sin la intención de ahondar demasiado en lo que se observó, daremos a conocer en el próximo capítulo, titulado “Evidencia empírica y análisis de los resultados”, los puntos más sobresalientes encontrados en estos estudios exploratorios.

4.3. Características de los entrevistados

Para aplicar la entrevista final, se buscaron profesionistas que tuvieran un perfil idóneo descrito en el punto anterior. Encontramos a Ángel, Trinidad y Humberto, quienes aceptaron que les aplicáramos la entrevista para colaborar en esta investigación. En su momento no se sabía qué iban a contestar, pero sí sabíamos que ellos tenían un *background* necesario para que encararan el reto.

Aclaremos que no es que las características de los entrevistados fueran a modo para que nos diera lo que queremos, fue a modo para que pudiéramos observar aquellas cosas que no se conocen y que son objeto de estudio en la investigación. Es decir, no es que supiéramos la respuesta antes de iniciar la investigación, es que era necesario encontrar el tipo de perfil debía tener el que nos pudiera ayudar a encontrarla.

El hecho de que los analistas químicos entrevistados conocieran lo que se hace en el campo laboral permitió obtener interpretaciones del instrumento reales y bien fundamentadas, lo que ratificó la validez del instrumento y atribuyó a la confiabilidad de las respuestas.

A continuación se muestra un breve resumen del perfil de los tres entrevistados. Estos perfiles se obtuvieron de las respuestas que dieron a una serie de preguntas que se les hicieron antes de la entrevista y de su currículum vitae.

Ángel estudió la licenciatura de Químico Farmacéutico Industrial en la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional (IPN), hizo una Maestría en Ciencias en la especialidad de Farmacología en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV-IPN) y el Doctorado en Ciencias en la especialidad de Farmacología en el mismo CINVESTAV-IPN. Ha tomado diversos cursos, entre los que destacamos: Validación de métodos analíticos y Espectrofotometría UV-visible. Trabajó como becario del departamento de aseguramiento de calidad en la empresa Química Esteroidal S.A. de C.V. y posteriormente como auxiliar de la gerencia de producción en la misma empresa.

Por su parte, **Trinidad** estudió la licenciatura como Química Farmacéutico Biológica en la Universidad Nacional Autónoma de México. Actualmente cursa el cuarto semestre de la Maestría en Ciencias en la especialidad de Farmacología en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Trabajó durante dos años en Bioanalit Laboratorios S. A. de C. V. bajo el puesto de Químico Analista. Lo que ella hacía en este laboratorio era todo lo referente a al desarrollo y validación de métodos analíticos en fluidos biológicos, para llevar a cabo estudios de bioequivalencia de medicamentos genéricos utilizando un equipo HPLC acoplado a espectrómetro de masas o a un espectrofotómetro UV-VIS.

Y **Humberto**, que estudió la licenciatura de Químico Farmacéutico Industrial en la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del IPN, hizo una maestría en Ciencias Quimicobiológicas en el mismo IPN y actualmente está en el cuarto semestre del Doctorado en Farmacología en el CINVESTAV-IPN. Trabajó en el departamento de investigación de desarrollo de la empresa llamada TEVA API – SICOR México. Dentro de sus actividades principales se encontraban hacer análisis, evaluación, aprobación y recomendación de nuevas materias primas para el proceso de síntesis de varios fármacos de la cartera de productos de la empresa; realizar mejoras del proceso de síntesis a nivel de laboratorio y supervisar la aplicación de las mismas en el área de producción; así como encargarse de realizar nuevas alternativas en el proceso de síntesis que brindaran mejora en la calidad de los productos intermedios y del producto final. En todas las actividades que realizó tuvo que usar constantemente los espectrofotómetros y realizar curvas de calibración.

A los tres se les hicieron las entrevistas, por separado, en las instalaciones del Departamento de Matemática Educativa del CINVESTAV-IPN.

4.4. El instrumento para la recolección de resultados

La fuente de donde se extrajeron los datos para poder generar nuestras conclusiones y contestar nuestras preguntas de investigación, fue una entrevista del tipo participativa. Ideamos una batería de preguntas que guió el curso de la entrevista que se les hizo a los profesionistas mencionados. En ella, cada reactivo cubre un objetivo específico.

El objetivo general del instrumento fue el de identificar los saberes matemáticos asociados a la curva de calibración, los usos que se le da, y los significados implicados en su interpretación por parte de los entrevistados. Para ello, se grabaron las entrevistas, posteriormente transcribieron, y finalmente combinaron y comprobaron con las notas mentales y las notas de campo, para proceder a su respectivo análisis.

Al iniciar la entrevista se les mostró impresa la siguiente información y posteriormente las gráficas en el orden que se describe en el siguiente apartado.

Luz Adriana Quintero Rendón es una colombiana que se tituló en el 2011 con la tesis: “Evaluación del tratamiento biológico para la remoción del color índigo del agua residual industrial textil, por un consorcio microbiano, en lecho fluidizado”. Quintero-Rendón (2011) evaluó el sistema de remoción de color índigo azul de un efluente de tintorería a través de un tratamiento biológico con células inmovilizadas en un reactor piloto de lecho fluidizado. Con este estudio de carácter exploratorio, ella pretende dar un aporte a la investigación de los tratamientos de aguas textiles con colorantes complejos, estudiar las bacterias pertenecientes a los medios de crecimiento nativo y su capacidad de adaptación a efluentes textiles, evaluar materiales de soporte para la adhesión de bacterias y estudiar los RTLF (Reactor Trifásico de Lecho Fluidizado).

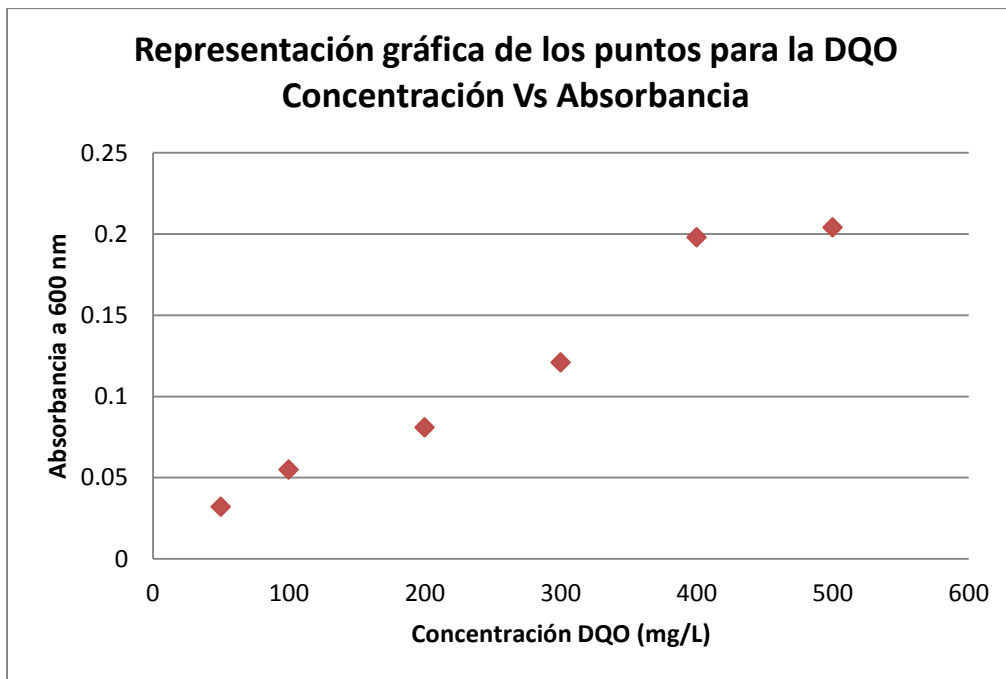
Una de las cosas que tuvo que hacer para obtener sus resultados, entre otras, fue una curva de calibración. La curva de absorbancia vs. Demanda Química de Oxígeno (DQO) muestra algunas características que me gustaría que usted, como analista químico, interpretara.

La curva de calibración de DQO se realizó a partir de la preparación de seis diluciones sucesivas desde 50 hasta 500 ppm con las concentraciones presentadas en la siguiente tabla:

Concentración de DQO y absorbancia a 600 nm.	
Concentración DQO mg/L	Absorbancia
50	0.032
100	0.055
200	0.081
300	0.121
400	0.198
500	0.204

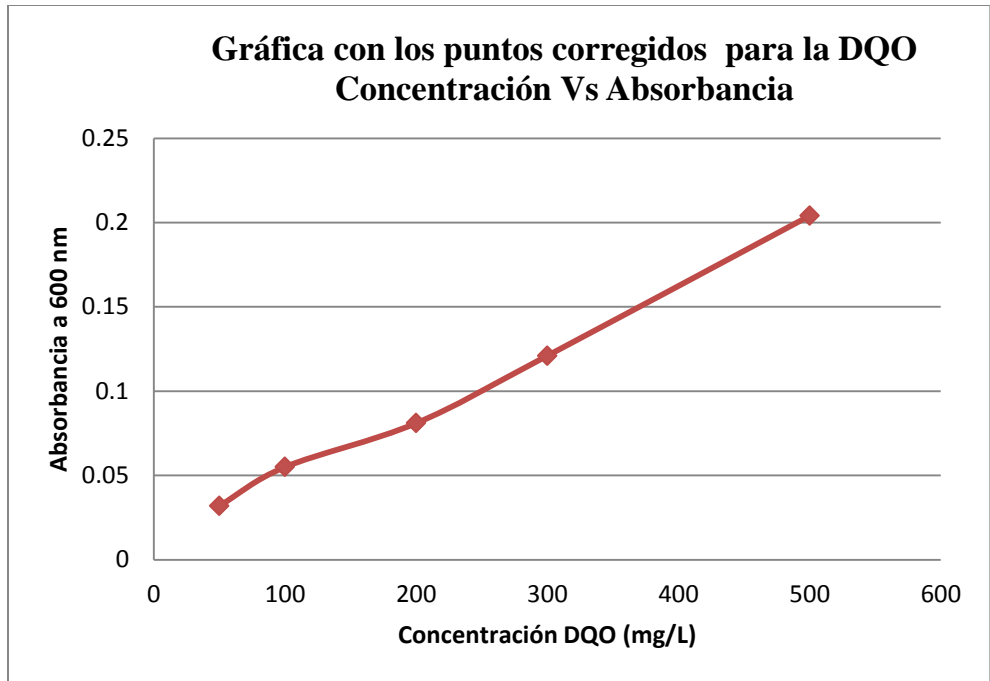
Tabla 2: Tabulación de las distintas concentraciones y sus respectivas lecturas de absorbancia

La representación gráfica de los puntos de la tabla es

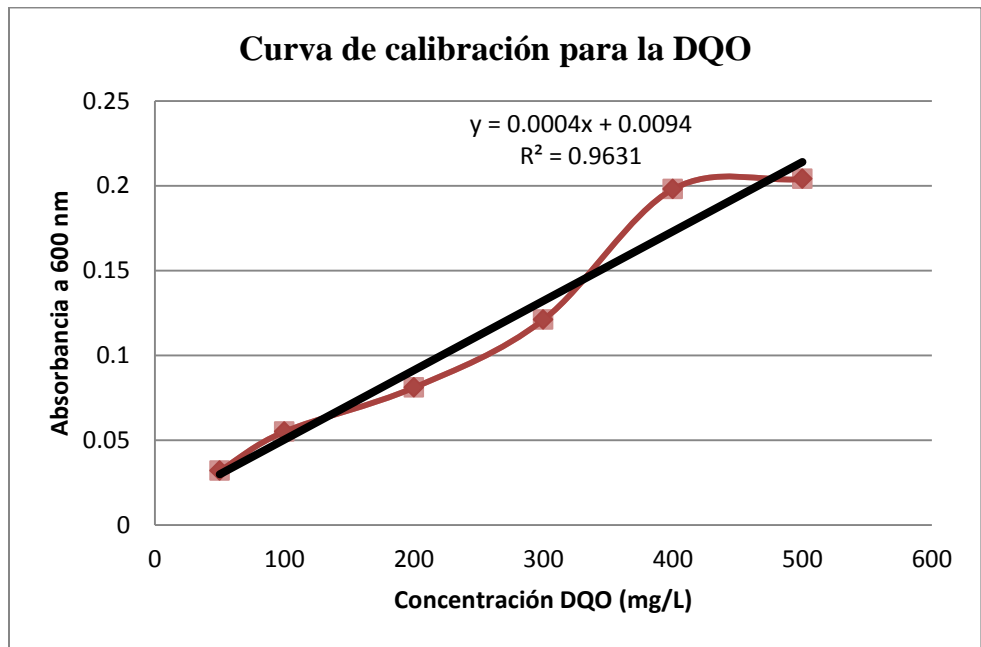


Gráfica 1

Una vez leída con atención la información anterior, y observado la tabla y la gráfica 1, se procedió a realizar las preguntas que se muestran en la “guía de la entrevista” que se muestra en el siguiente apartado. Las gráficas 2 y 3 se mostraron cuando en la guía se indicó.



Gráfica 2



Gráfica 3

4.4.1. Guía de la entrevista

Este apartado se divide en cuatro: Introducción a la presentación de gráficas, Análisis de la gráfica 1, Análisis de la gráfica 2 y Análisis de la gráfica 3. El primero hace referencia a lo que se les presentó a los entrevistados para que pudieran involucrarse en el tema a tratar; mientras que en el segundo, tercero y cuarto se presentan preguntas relacionadas con las gráficas que se les mostraron impresas a los entrevistados, así como una breve descripción de qué se esperaba que contestaran los entrevistados y cuál es el objetivo de cada pregunta.

4.4.1.1. Introducción a la presentación de las gráficas

El objetivo de esta sección fue introducir a los entrevistados en el tema y proporcionar una descripción breve de las características del estudio que dio origen a las gráficas que se les mostrarían. La introducción al tema se dio mediante la presentación de la información que aparece en la figura 14.

Luz Adriana Quintero Rendón es una colombiana que se tituló en el 2011 con la tesis: "Evaluación del tratamiento biológico para la remoción del color índigo del agua residual industrial textil, por un consorcio microbiano, en lecho fluidizado". Quintero-Rendón (2011) evaluó el sistema de remoción de color índigo azul de un efluente de tintorería a través de un tratamiento biológico con células inmovilizadas en un reactor piloto de lecho fluidizado. Con este estudio de carácter exploratorio, ella pretende dar un aporte a la investigación de los tratamientos de aguas textiles con colorantes complejos, estudiar las bacterias pertenecientes a los medios de crecimiento nativo y su capacidad de adaptación a efluentes textiles, evaluar materiales de soporte para la adhesión de bacterias y estudiar los RTLF (Reactor Trifásico de Lecho Fluidizado).

Una de las cosas que tuvo que hacer para obtener sus resultados, entre otras, fue una curva de calibración. La curva de absorbancia vs. Demanda Química de Oxígeno (DQO) muestra algunas características que me gustaría que usted, como analista químico, interpretara.

La curva de calibración de DQO se realizó a partir de la preparación de seis diluciones sucesivas desde 50 hasta 500 ppm con las concentraciones presentadas en la siguiente tabla:

Concentración de DQO y absorbancia a 600 nm.	
Concentración DQO mg/L	Absorbancia
50	0.032
100	0.055
200	0.081
300	0.121
400	0.198
500	0.204

Figura 14: Información para la introducción de los entrevistados al tema

4.4.1.2. Análisis de la Gráfica 1

Para esta parte, se le mostró a los entrevistados únicamente la gráfica 1 y se les hicieron las preguntas que se presentan en este apartado.

En esta primera gráfica no se mostró la curva de ajuste, con la idea de que los entrevistados no distrajeran su atención de todos los elementos que la conforman y así favorecer la descripción de los mismos. La gráfica 1 se muestra en la figura 15 y es la siguiente:

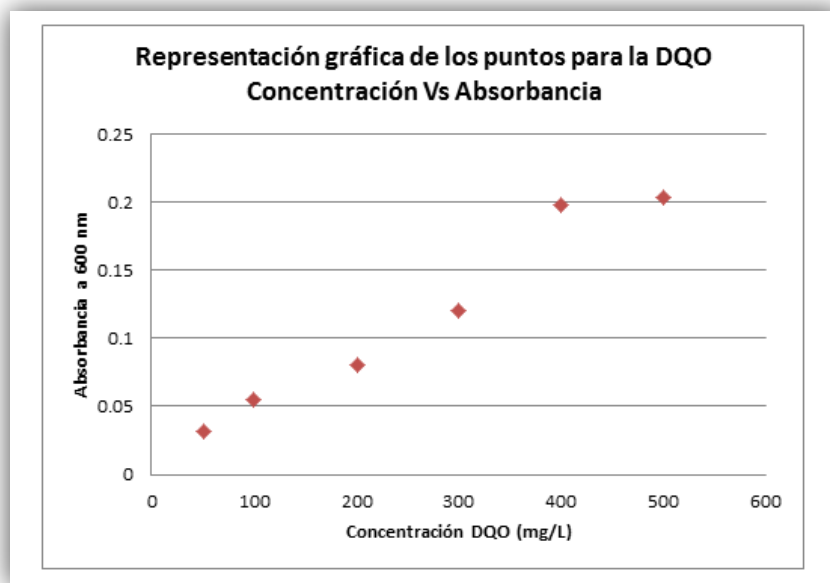


Figura 15: Gráfica 1

Pregunta 1.1. Observa detenidamente la gráfica que te voy a mostrar y menciona en voz alta los elementos que vayas observando.

El objetivo de esta pregunta era observar qué elementos de la gráfica atienden primero los entrevistados, por considerar que el orden de mención puede ser el mismo que usan habitualmente en su actividad cotidiana. Pudieron haber mencionado: título, ejes cartesianos, escalas de los ejes, tipo de gráfica y datos de la gráfica.

Pregunta 1.2 Describe brevemente qué significado tiene cada uno de los elementos que acabas de mencionar.

Se quiso indagar en los significados que le atribuyen a los elementos señalados. Además de observar la forma en la que inician la lectura de la gráfica, si conceden mayor importancia a algunos de los elementos mencionados y si los significados que les atribuye son habituales. Los significados habituales serían:

Título - información general de la gráfica.

Ejes cartesianos – Corresponden a las variables de concentración en miligramos por litro (partes por millón) y absorbancia a 600 nanómetros.

Escala de los ejes – Valores que pueden tomar las variables o atributos de las marcas, en este caso.

Tipo de gráfica – De dispersión

Puntos de la gráfica – Mediciones de las diferentes muestras.

Pregunta 1.3. ¿Qué representa cada uno de los puntos de la gráfica?

Se quiso conocer el significado que le asigna a cada uno de los puntos de dispersión.

Cada punto representa la correspondencia entre concentración y absorbancia. Es decir, la lectura absorbancia en el espectrofotómetro a una concentración dada.

En este momento, también se observó si decían algo sobre la variación de un parámetro respecto al otro.

Pregunta 1.4. ¿Qué es absorbancia, qué mide y cómo se mide?

Pretendimos iniciar explorando, como un primer acercamiento, qué tanta información decían los entrevistados sobre la noción de absorbancia. Esta respuesta determinaría la necesidad de hacer las demás preguntas (o no), y qué tanto profundizar en ellas.

Pregunta 1.5. ¿Por qué se resalta en el eje de la y que la absorbancia está medida a 600 nm? ¿Qué significado tiene?

Cuando se va a hacer un análisis de este tipo, se inicia haciendo un *barrido* que permite conocer la longitud de onda a la que más absorbe la sustancia problema. Así se evita que una

sustancia diferente a la que se pretende analizar, esté absorbiendo luz y cause lecturas erróneas en el equipo.

Por lo tanto, el “600 nm” significa que las lecturas de absorbancia fueron tomadas a una longitud de onda de 600 nanómetros.

Pregunta 1.6. ¿Qué relación guardan la absorbancia y la concentración?

Teóricamente guardan una relación directamente proporcional, es decir, al graficar absorbancia vs. concentración se debería dibujar una línea recta; pero en la realidad puede dibujarse una curva diferente que se ajuste, más bien, a una función cuadrática, cúbica o exponencial. Pretendimos que los entrevistados pudieran dar una respuesta justificada del porqué de esta relación.

Pregunta 1.7. ¿Por qué se dice que tiene que ser una línea recta? ¿Qué pasa si no?

Aunque teóricamente debería ajustarse a una línea recta, existen ocasiones que se ajusta mejor a otro tipo de función. En caso de que los entrevistados dijeran que efectivamente tiene que dar una línea recta, se les haría esta pregunta. Los entrevistados deberían contestar qué pasa cuando la curva se ajusta a otro tipo de función, las limitaciones que puede tener y los tipos de errores que podrían obtenerse si se ajusta a una función diferente a la recta.

Pregunta 1.8. ¿Qué significado tiene la pendiente de la recta?

Con esta pregunta tratamos de llevar a los entrevistados más allá de lo que normalmente hacen, de cuestionarlos sobre lo que para ellos puede ser algo “trivial”, pero que posiblemente nunca se habían preguntado. El significado que tiene la pendiente de la recta en cuestión es que la razón de cambio de la absorbancia respecto a la concentración es constante.

Más fino, la fórmula de ley de Beer es

$$A = abc$$

Donde a es la absorptividad de la especie y b es el espesor de la celda del espectrofotómetro. Por lo que realmente la pendiente es el producto de la absorptividad y el espesor de la celda de análisis.

Pregunta 1.9. ¿En qué casos pudiera dejar de ser una línea recta?

Desde su experiencia, ellos tendrían algunas respuestas para este cuestionamiento. Posiblemente hablarían sobre errores en el espectrofotómetro, malas mediciones por parte del analista o altas concentraciones de analito presente en la muestra.

Pregunta 1.10. ¿Por qué el valor de la absorbancia que da un equipo sea una medida indirecta de la concentración?

Para ellos es lógico, hasta cierto punto, que la concentración se pueda determinar con medidas de absorbancia. Esta pregunta intentó hacerlos reflexionar sobre qué es lo que hace que la absorbancia sea una medida indirecta de la concentración. Se esperaba que los entrevistados hicieran mención de ley de Lambert-Bouguer-Beer (conocida también como la Ley de Beer) y que hablaran sobre los principios básicos de la espectrofotometría.

Pregunta 1.11. Uno de los equipos con el que se mide la absorbancia se llama Espectrofotómetro, ¿cierto?, ¿cómo mide este equipo la absorbancia?

Los analistas químicos usan los aparatos, y cuando ocurre algún problema, deben conocer los principios que gobiernan al funcionamiento de los equipos para intentar resolverlo; por lo que esta pregunta pretendió que los entrevistados explicaran qué sucede en el equipo, cómo es que mide (o mejor dicho, calcula) una absorbancia y, en el mejor de los casos que explicaran las partes principales de las que está compuesto el equipo.

Pregunta 1.12. Existe otro parámetro llamado transmitancia, ¿cómo se relaciona este con la absorbancia?

Para hablar conceptualmente de la absorbancia, es necesario hablar de la transmitancia. Con esta pregunta se pretendió conocer qué noción tenían sobre la transmitancia, cómo se determina y de qué forma se relaciona con la absorbancia. En algunos laboratorios de análisis

es más común que usen la transmitancia que la absorbancia; si este es el caso, sería una buena oportunidad para preguntar el porqué.

Pregunta 1.13. ¿Por qué la absorbancia es igual a menos el logaritmo en base 10 de la transmitancia?

Pareciera que una simple resta de la luz que entra menos la luz que sale, determinaría perfectamente la luz que es absorbida. Pero no es así, en la matemática presente en la noción de absorbancia aparece un logaritmo base 10.

Pretendimos con esta pregunta observar qué nociones matemáticas (de las involucradas) entienden, usan y pueden explicar.

Pregunta 1.14. ¿Qué valor debería tomar la absorbancia cuando la concentración es cero? ¿Por qué?

Cuando se dibujan las curvas de calibración, regularmente inician con el dato arrojado por la solución más diluida, pero no toman en cuenta el blanco. Es decir, no toman en cuenta el valor cuando no hay analito. Si el equipo está bien calibrado, debería de marcar una absorbancia de cero, cuando la concentración es cero.

Quisimos escuchar qué argumentos daban ante esto los entrevistados.

Pregunta 1.15. ¿Por qué, a más concentración más absorbancia?

Porque la ley de Beer establece que la absorbancia es directamente proporcional a la concentración.

Se esperaba que contestaran en ese sentido.

Pregunta 1.16. ¿Qué información se puede deducir de esta gráfica? Describe detalladamente los usos que le puedes dar.

Se deseaba conocer qué información podían obtener los entrevistados de la gráfica.

Se podría inferir cuál es la concentración de la DQO en una solución problema sin necesidad de utilizar equipos sofisticados. Basta con poner la solución de concentración desconocida de

DQO en el espectrofotómetro, leer la absorbancia e ir a la gráfica para ver qué concentración tiene la solución problema.

Se puede saber qué tan bueno será valor calculado de concentración con el valor de R^2 .

Pregunta 1.17. Con esta gráfica, ¿es posible conocer una concentración que no esté en el rango graficado?

a) Si la respuesta es afirmativa, ¿cómo le haría?

b) Si la respuesta es negativa, ¿Por qué no se puede?

El aparato mide con exactitud en un rango de concentraciones pequeñas. No es posible extrapolar a cualquier concentración. Por lo tanto, se esperaba que dijeran que sí es posible, pero siempre y cuando se extrapole a concentraciones²¹ $\leq 0.01M$.

Pregunta 1.18. ¿Cómo sería la curva de calibración que obedece a estos puntos? Dibuja la curva sobre la gráfica.

Se esperaba que los entrevistados dibujaran a mano una curva aproximada que ajuste a los datos dispersos. La idea era observar si discrimina o no al punto número 5.

La respuesta probable sería trazar una curva como la que se muestra en la gráfica 3. Sin embargo, es difícil que a simple vista pueda dibujarla con exactitud, sobre todo porque el punto 5 está fuera de rango y mete ruido en las mediciones.

Pregunta 1.19. ¿Consideras que es una buena curva? Argumenta tu respuesta.

Se esperaba que dijeran que no, ya que la curva de calibración pasa lejos de algunos puntos. Pero, puesto que hasta el momento solo había hecho la curva a mano, sería difícil que pudiera decir numéricamente porqué no es una buena curva.

Pregunta 1.20. ¿A partir de la gráfica usted puede expresar la ecuación que relacione la absorbancia con la concentración? ¿Cuál sería?

²¹ Se lee "0.01 molar" y significa que hay 0.01 moles de soluto en un litro de solución.

Se esperaba que contestaran que tiene que ser de grado uno, ya que la absorbancia de una sustancia varía directamente con su concentración, cuando no sobrepasa los límites de concentración que vienen dados por la ley de Beer. Si lo sobrepasa se convierte en una curva diferente. Pero para situaciones reales, es común que no se sobrepasen estas concentraciones ya que siempre se trabaja a concentraciones pequeñas.

4.4.1.3. Análisis de la Gráfica 2

Con esta gráfica se buscaba conocer, de acuerdo con la opinión de los entrevistados, qué implicaciones tiene quitar un punto que no obedezca a la linealidad. Ver figura 16.

Se les mostró la gráfica 2 y se hicieron las preguntas siguientes.

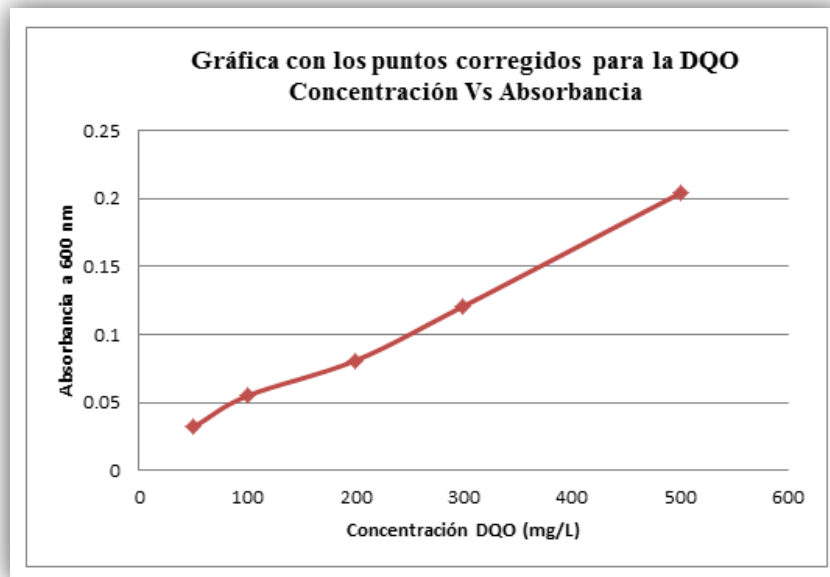


Figura 16: Gráfica 2

Pregunta 2.1. He quitado un punto de la gráfica anterior ¿Puedo hacerlo?

- a) Si la respuesta es afirmativa, ¿qué gano haciéndolo?
- b) Si la respuesta es negativa, ¿Por qué no se puede?

Se esperaba que dijeran que sí es posible, ya que ese punto puede haber venido de una mala medición, si se deja ese punto se tendrá una mala curva y si se quita, los cálculos tendrán

aceptabilidad. Aunque lo ideal sería que contestaran que es mejor que se vuelvan a hacer las mediciones para obtener otra curva y corroborar datos.

Pregunta 2.2. Considerando lo todo lo anterior ¿Para qué se hace una regresión lineal?

Esta pregunta buscaba indagar sobre los métodos estadísticos empleados en la actividad de los entrevistados, su familiaridad. Que dijeran que se hace una regresión lineal para poder obtener un modelo matemático que ajuste a los puntos graficados y así poder conocer concentraciones de manera indirecta.

4.4.1.4. Análisis de la Gráfica 3

Se buscaba conocer cómo interpretaban la gráfica y todo lo que conlleva tener un valor de R^2 (el cuadrado del coeficiente de correlación de Pearson) cercano a uno, para el gráfico.

Se les mostró la gráfica 3 que se muestra en la figura 17 y luego de esto, se hicieron las siguientes preguntas:

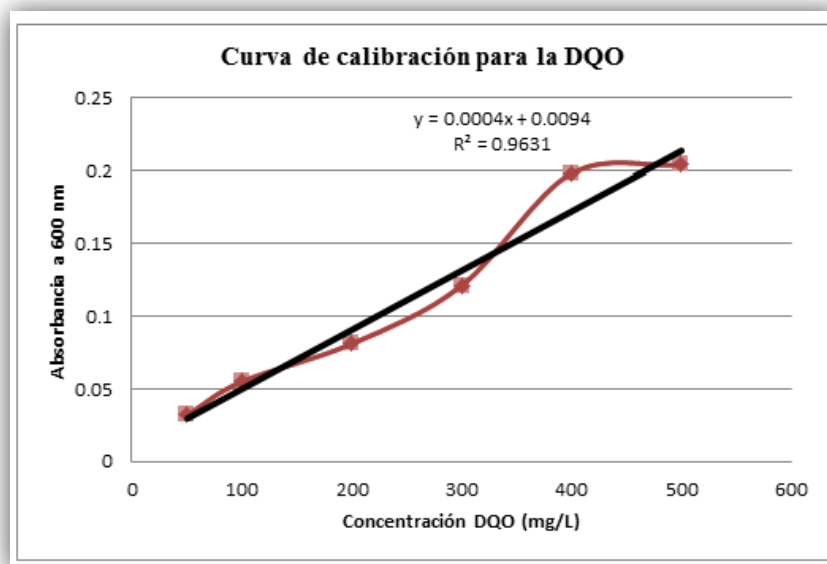


Figura 17: Gráfica 3

Pregunta 3.1. En la ecuación mostrada: $y = 0.0004x + 0.0094$ ¿es correcto que cuando la concentración es cero, la absorbancia tome un valor diferente de cero?

Se esperaba que dijeran que no, que tendría que ser cero, pero no es exactamente cero (aunque sí cercano a) porque pueden existir errores en la precisión del equipo o en la misma preparación de las diferentes concentraciones de analito.

Pregunta 3.2. ¿Cómo se interpreta que R^2 sea 0.9631?

Se esperaba que dijeran que es una mala curva²² y que argumentaran que para que pueda ser una buena curva el valor de R^2 tendría que ser mayor que 0.98.

Pregunta 3.3. A partir de esta gráfica, ¿se puede determinar si se obtendrán buenas mediciones de concentración?

a) Si la respuesta es afirmativa, no se pregunte más.

b) Si la respuesta es negativa, ¿Qué se puede hacer para tener buenas mediciones sin tener que volver a hacer las diluciones?

Se esperaba que contestaran que no, que para tener buenas mediciones sería necesario eliminar el punto 5 del gráfico (de izquierda a derecha) y volver a hacer la curva.

También es posible que argumentaran que sería mejor volver a hacer las mediciones de concentración contra absorbancia con el espectrofotómetro.

El propósito fue observar qué decisiones tomaban ante un caso como este, con base a su experiencia y conocimiento del tema.

Pregunta 3.4. En su trabajo ¿para que usa las curvas de calibración?

Se deseaba conocer la relación al saber que guardan los entrevistados. En qué usan o usaban las curvas de calibración, determinaría la forma en que abordaban a las preguntas.

²² El grado de aceptabilidad de la curva que pasa los dichos puntos se determinará con el parámetro R^2 . Para que pueda ser una curva aceptable, su valor debe ser mayor que 0.98. Información al respecto se puede leer en http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/CURVASDECALIBRACION_23498.pdf

CAPÍTULO 5

EVIDENCIA EMPÍRICA Y ANÁLISIS DE DATOS

La creación es un pájaro sin plan de vuelo
que jamás volará en línea recta.

Violeta Parra en la película “Violeta se fue a los cielos”
de ANDRÉS WOOD

Bajo la premisa de que el discurso es un medio para estudiar las prácticas sociales, en nuestra investigación nos interesamos en ahondar sobre las características de un grupo de profesionistas y en los recursos o elementos discursivos que estos usan cuando se les hace una entrevista, en donde el centro es un objeto matemático con el que comúnmente interactúan en su actividad profesional.

Los datos fueron recolectados mediante la grabación en audio y vídeo de las entrevistas que se les hicieron a siete profesionistas. De las siete que se realizaron, cuatro se hicieron a nivel exploratorio y tres para la toma de datos. De estas tres últimas, solamente se reportan dos ya que a que en una de ellas no se logró ahondar tanto en lo que se buscaba debido a que uno de los profesionistas entrevistados tenía más conocimientos a nivel técnico y pocos a nivel teórico; por los fines buscados en esta investigación se requería de profesionistas que conocieran la técnica, pero también el sustento teórico.

Para el análisis de los datos que se reportan en este capítulo, tomamos fragmentos de las respuestas o respuestas completas a algunas preguntas que se hicieron durante las entrevistas; incluso en algunos casos fue necesario citar fragmentos completos de la conversación entre el entrevistado y el investigador. Desde nuestro punto de vista, seleccionamos las partes más ricas en información que nos dieron la pauta para contestar nuestras preguntas.

Recordamos que el objeto matemático que se estudió es una gráfica que se conoce como curva de calibración. Esta gráfica está íntimamente ligada con la noción de absorbancia. La curva de calibración tiene interpretaciones y usos que son propios del área del análisis químico. A continuación se presentan algunos puntos que consideramos de interés. Se hacen dos análisis, uno sobre lo que se evidenció en el estudio exploratorio con los primeros cuatro profesionistas y otro sobre lo que se observó en las entrevistas finales que se hicieron con los químicos Ángel y Humberto. El primero se representa con una letra *A* y el segundo con la letra *H*; al investigador con la letra *E*.

Las conversaciones completas se encuentran en la sección de anexos.

5.1. La aplicación de la prueba piloto

Como se dijo anteriormente, realizamos un estudio a nivel exploratorio con cuatro profesionistas expertos en el área del análisis químico que actualmente trabajan en la industria. Se les aplicó una entrevista piloto y se hizo un análisis sobre lo observado. El análisis sirvió como base para confirmar, modificar, pulir y precisar algunos aspectos de la guía de la entrevista. Las conclusiones a las que llegamos en este ensayo experimental resultaron importantes para avanzar con el desarrollo de nuestra investigación. En el presente apartado mostramos un breve resumen sobre lo que, de manera general, marcó la pauta para llevar cabo un análisis más a fondo con los profesionistas *A* y *H* a quienes se les aplicó la versión final de la entrevista.

5.1.1. Análisis de resultados en la aplicación de la prueba piloto

Los primeros cuatro profesionistas a los que se entrevistó utilizan un lenguaje propio de su campo disciplinar; con frecuencia dijeron palabras como concentración, analito, solución, dilución, muestra problema, absorbancia, coeficiente de absorción, partes por millón, miligramos por litro, demanda química de oxígeno, molaridad, validación, blanco, espectrofotómetro, celda, alícuota, solución madre... que son propias del análisis químico; además de hacer uso de palabras propias de la matemática que en su trabajo cobran un sentido, por ejemplo repetibilidad, linealidad, coeficiente de correlación lineal, intersecciones con los ejes, tendencia, ajuste, curva, gráfica, asintótico, parábola, regresión lineal, logarítmico, datos agrupados, entre otras. Todas estas palabras tienen un significado específico que nosotros necesitábamos entender para aplicar e interpretar las entrevistas finales.

Según nos dijeron, la curva de calibración no solo le indicará al analista químico cómo se relaciona la concentración con la absorbancia, sino que puede determinar si hay repetibilidad en los valores mostrados, saber qué valores son atípicos (valores que no están alineados) y predecir la concentración de una solución realizando una ecuación que ajuste a los puntos dispersos mostrados. El que interpreta la curva de calibración puede suponer que cuando hay un dato atípico podría ser por muchas causas que están relacionadas con el

método y la especie a analizar, además puede determinar la confiabilidad de la curva para poder decidir si usarla o no. En este caso, podemos decir que **la forma de la curva de calibración y su análisis se antepone a su uso.**

Por otra parte, nos hablaron sobre los problemas por los cuales una curva de calibración podría no salir bien: puede deberse a una mala medición del operador, a que el equipo de análisis no esté funcionando de la forma correcta o a que haya errores en los cálculos matemáticos al momento de realizarla.

Dos, de los primeros cuatro profesionistas entrevistados, hicieron énfasis en que los ejes estaban “volteados”, es decir, afirmaban que la gráfica que se les estaba mostrando de absorbancia contra concentración en realidad debería de ser de concentración contra absorbancia. En la figura 18 se muestran ambas curvas de calibración.

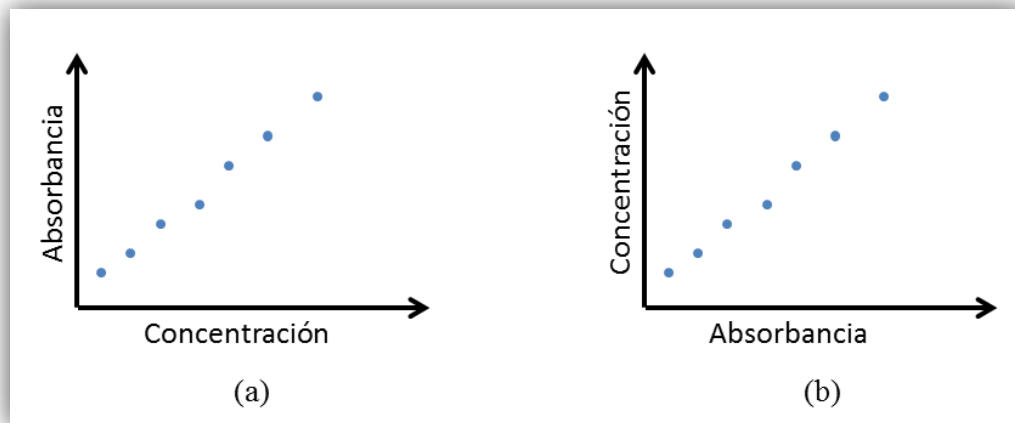


Figura 18: (a) Gráfica de absorbancia vs. concentración,
(b) Gráfica de concentración vs. absorbancia

Revisamos en libros de texto, en manuales de laboratorio y en páginas de internet cómo aparecían las curvas de calibración y únicamente las hemos encontrado como la que se muestra en el inciso (a) de la figura 18, pero ¿a qué se debe que estos profesionistas consideren que la correcta es como la que se muestra en (b)? Hemos reflexionado, y pensamos que existen dos tiempos, uno en el que se construye la gráfica y otro en el que se lee. Es decir, un primer tiempo es cuando se preparan las diluciones a concentraciones conocidas para leer su absorbancia en el espectrofotómetro con el fin de construir la curva de

calibración, y un segundo cuando se mete al espectrofotómetro una muestra problema para leer una absorbancia y así poder conocer de manera indirecta su concentración haciendo uso de la gráfica. Así entonces, en el primer caso se considera a la absorbancia como dependiente de la concentración, y en el segundo, la concentración de la muestra como dependiente de la absorbancia.

Cuando se trabaja en la industria con algún proceso químico ya se tienen estándares sobre cómo debe de ir un producto, entonces es de esperarse que los profesionistas que afirmaron que la gráfica (b) era la correcta, es porque en sus trabajos ya tienen una curva de calibración de la cual siempre hacen uso para poder determinar las concentraciones de sus muestras problema; no así en lo escolar, en donde cada vez que se va a hacer un análisis se tiene que construir la gráfica. Cuando se hace una gráfica del tipo (a), el ajuste matemático queda de la forma $Absorbancia = m * Concentración + b$, pero se tiene que despejar a la Concentración para poder analizar a la muestra problema una vez que se haya medido la absorbancia. Por esta razón sería más fácil usar una gráfica como la (b) ya que su modelo de ajuste sería de la forma $Concentración = m * Absorbancia + b$. Entonces, no es que estén mal los ejes o la gráfica, lo que sucede es que **la forma de construirla depende del uso inmediato que se les da.**

Una vez que se grafican los puntos de concentración vs. absorbancia, se procede a encontrar una función que se ajuste a esos puntos. El ajuste tiene que ser lineal, pero, ¿por qué no ajustar a una ecuación cuadrática si matemáticamente fuera la mejor? En estas entrevistas nos dijeron porque no es correcto ajustar los puntos a un polinomio de grado distinto de uno o a algún otro tipo de función. Los profesionistas argumentaron, por ejemplo, que al ser una cuadrática se corre el riesgo de empezar a tener mediciones en las que para diferentes concentraciones haya una misma absorbancia o incluso tener valores negativos de absorbancia a concentraciones altas. Estos profesionistas tienen, por lo tanto, un argumento basado en su experiencia. No es que necesariamente tengan que conocer la ecuación general o normal de una cuadrática para poder interpretar lo que causaría en su curva de calibración; diremos ahí que su conocimiento es significativo.

Así pues, el análisis de las cuatro entrevistas piloto nos dio luz para tener criterios que nos permitieran dar mayor profundidad a ciertas preguntas, indagar más sobre algunos

aspectos que salieron a flote en este primer acercamiento, eliminar puntos que hicieron que estas primeras entrevistas se fueran por otros caminos y obtener evidencia de que algunas preguntas efectivamente nos posibilitaban encontrar lo que buscamos.

5.2. Análisis los datos obtenidos en las entrevistas con *A* y *H*

En este apartado se analizan ejemplos de la manera en la que los profesionistas del análisis químico hacen uso de las curvas de calibración. Se reporta la información que obtienen de ellas y las interpretaciones que hacen de los elementos que las conforman desde su propio campo disciplinar. Todo ello como fuente para la toma de decisiones en el análisis de elementos y compuestos químicos.

5.2.1. Sobre el uso que se le da a la curva de calibración

Se les cuestionó a *A* y a *H* sobre el uso que le daban en su trabajo a las curvas de calibración. *A* trabajaba hace algunos años en una industria llamada Química Farmacéutica Esteroidal S. A. de C. V. Su principal función consistía en determinar concentraciones de materiales, por lo que hacía uso de las curvas de calibración de manera regular.

A120: Principalmente era para determinar concentraciones de material, ver que no hubiera contaminantes o que los contaminantes estuvieran al mínimo... determinábamos la cantidad de algestón por medio de una reacción colorimétrica... es un reactivo el que se le ponía y ya lo metías al espectrofotómetro y entonces el acetato no reacciona o el acetofenido no reacciona, pero el algestón sí, entonces determinábamos la cantidad de algestón experimentalmente.

Por su parte *H* trabajaba en una empresa llamada TEVA API – SICOR México. En su trabajo usaba las curvas de calibración para analizar reacciones y determinar concentraciones de especies químicas.

H64: Cómo se llevó a cabo la transformación de mi fármaco, de mi principio activo y para evitar pérdidas de materia prima, entonces yo tenía que ir a generar una curva de calibración del producto que yo quería analizar, es decir, cuál es mi producto de acuerdo a mi reacción... $A+B \rightarrow C$, entonces yo preparaba una curva de diferentes concentraciones de *C* y hacía una lectura de absorbancia de tal manera de generar también una tendencia lineal. Entonces

yo, cuando estaba monitoreando mi reacción durante el proceso de síntesis, tenía que observar el aumento en la concentración de C, ¿y eso cómo lo sabía?, pues ya con mi curva de calibración. Entonces era indispensable, en este caso para saber que tanto A como B habían reaccionado entre ellos para generar C y así evitar la pérdida de materia prima de A y de B.

De manera general, tanto *A* como *H* hablan del uso de las curvas de calibración para el análisis de especies químicas en las que se sabe la sustancia que se encuentra en solución, pero no su cantidad. Además, explican que con la curva de calibración también es posible determinar el grado de avance de una reacción, es decir, cómo va apareciendo o desapareciendo una especie química conforme avanza el tiempo de reacción.

Además explica *A*:

A9: Habitualmente para conocer la cantidad de un material en un volumen se utilizan este tipo de curvas de absorbancia contra concentración. O sea, preparas tú una serie de estándares a concentraciones conocidas, mides las absorbancias y si tienes una muestra problema, que no conoces la concentración, interpolas en la curva.

En este último párrafo *A* explicó los pasos, a groso modo, para poder determinar la concentración de una muestra problema. Tanto *A* como *H* fueron capaces de explicarnos la técnica en forma resumida y también a detalle, lo que implica que conocían el método de análisis a la perfección. Esto les permitió tener la capacidad de interpretar a fondo la curva de calibración que se les presentó y dar argumentos sólidos para tomar decisiones con base en lo que se les mostró.

5.2.2. Sobre la toma de decisiones que un analista químico puede hacer con base en la interpretación de la curva de calibración

Hablar de la interpretación de la curva de calibración implica ahondar en el análisis de los elementos que la conforman; por ejemplo los ejes, los puntos, la curva de ajuste y los aspectos relacionados con la sustancia a analizar. Una vez que un analista químico sea capaz

de entender de manera adecuada a las curvas de calibración, será capaz de tomar decisiones con base en lo que pueda observar, ya que en este caso no hay una regla general que dicte cuándo se ha medido bien una muestra problema y cuándo no, razón por la cual este tipo de análisis se sigue haciendo con personas y no con máquinas. Claro, una máquina toma las mediciones, pero la interpretación de las mismas para la toma de decisiones está totalmente a cargo del analista químico.

En la práctica del análisis químico se usa a la curva de calibración como herramienta para tomar decisiones. Los analistas químicos se hacen más expertos en el análisis conforme aumenta su ejercicio con estas gráficas. Galicia et al. (2011) mencionan que la intencionalidad de la práctica reside en la apropiación de la relación práctica/herramienta por el actor, es decir, en el conocimiento de la función de la herramienta matemática en el ejercicio de la práctica.

Tanto *A* como *H* han usado estas curvas en su labor profesional y académica, lo que les permite analizar de manera profunda los elementos que las conforman. En el siguiente fragmento *H* habla de lo que podía interpretar sin meterse tan a fondo al análisis de la curva que se le mostró.

H1: Lo que pretende hacer, obviamente como va a tener que tomar controles en proceso para ir cuantificando la cantidad de limpieza del agua, lo que tuvo que hacer primero fue utilizar concentraciones conocidas y colocarlas en la variable independiente, utilizó concentraciones conocidas para observar una respuesta... que en este caso sería la absorbancia, que sería la cantidad de luz que se puede absorber; porque en este caso es una muestra colorida. Entonces la diferencia entre colores de estas muestras va a... va a haber una diferencia en la absorbancia de la lectura en el espectrofotómetro. Entonces, los 600 nanómetros va a ser una longitud de onda fija en la cual, muy probablemente, el indicador, el color que ella quiere cuantificar, que es el que va a eliminar del agua es la mayor absorbancia, ¿qué quiere decir esto?, es la mayor longitud de onda en nanómetros en la que el compuesto se puede identificar con un espectrofotómetro a través del espectro de luz UV, que es luz ultravioleta.

Posteriormente el mismo *H* analiza más a fondo la información que aparece en la gráfica y pone especial atención al eje de las *equis*.

H17: Quizás, en ese caso, a lo mejor tendrías que ser más cuidadoso... no sé cómo haya preparado estas muestras para sacar la concentración de la demanda química de oxígeno. Entonces quizá ahí en la preparación de estas muestras para la concentración, eh, tuvo que haber estado, supongo yo, el colorante que estaban utilizando o que necesiten remover...

H17: No sé si esto aquí, hubo una mezcla de, tanto del colorante como de la cepa bacteriana que va a utilizar para removerlo y si hay por ejemplo aquí, combinación de esas dos cosas, es decir, de la bacteria y el colorante. Quizá por eso se observó algo aquí raro, en este caso, quizá tuvo que haber hecho... supongo que tuvo que haber utilizado la misma concentración... Pero si hay demanda química de oxígeno, debe de haber variabilidad de concentración en bacteria... Si por ejemplo hubo una mezcla de las bacterias y una mezcla del colorante, seguramente por eso se ve una tendencia así media fea. Quizá hubiera sido bueno, si es que aquí no varió la concentración... si varió y la concentración también de bacterias, hacer una curva diferente con solo bacterias y después una con solo colorante, y después en base a esas dos curvas, que supongo que van a quedar aquí mismo, validar esta. Quizá, por ahí pueda ser. Pero efectivamente, si hay otra razón por la que no se cumpla, es porque la concentración no va bien. Y bueno, obviamente aquí también hay factores que afectan, en cuanto a la preparación de la muestra, pero de que la ley se debe de cumplir, se debe de cumplir... Entonces aquí quizás, hay una combinación de esas dos cosas.

Como se observa, *H* trata de buscar el motivo por el cual la curva de calibración que se le mostró marcaba una “tendencia rara” pues pareciera no ajustarse a una recta y empezar a tener un comportamiento asintótico. Únicamente con analizar la gráfica, *H* cuestiona incluso la forma en la que fueron preparadas las diluciones con las que se realizó la curva de calibración y da varias opciones que se pueden hacer para que hubiera podido hacer una mejor curva, es decir, una curva que se parezca más a una recta.

Este análisis que hace *H* es debido a que le llama la atención que en la gráfica se hable de la concentración de una Demanda Química de Oxígeno. De la misma manera esto le causa ruido a *A*, quien reflexiona y analiza la gráfica, y desde un principio, sin necesidad de ver más que solo la gráfica, puede inferir algunas cosas que posiblemente estén pasando.

A1: Para empezar a mí se me hace que eso está raro, o sea, porque es una demanda, o sea es la cantidad que está requiriendo algo, o sea un proceso y

ella lo está poniendo en miligramos por litro que es una unidad de concentración. Emmm porque lo que es la demanda es el requerimiento, es como una especie de flujo, es como una especie de consumo. Es miligramos por litro... no son unidades de consumo. Tendrían que ser unidades de miligramos por hora, miligramos por alguna otra cosa, ¿no? Puede ser miligramos por litro pero por otra cosa, pero bueno.

Existen conocimientos que un analista es indispensable que los tenga para poder realizar una tarea como esta. En los siguientes fragmentos se muestra el discurso de ambos entrevistados (*A* y *H*) en donde se hace notar parte del *background* necesario para interpretar las curvas de calibración.

A22: Ahí realmente es por la saturación de la muestra, o sea, tienes una cantidad de soluto que ya no vas a poder disolver más en un volumen, entonces ya hace cosas raras con la dispersión de la luz, porque una parte... la va a dispersar hacia otro lado, no, porque si empiezas a echar mucha muestra, este, no se va a disolver, entonces la cantidad de luz que pasa va a ser la misma, o sea, llega a un punto en el que ya... se empieza a precipitar, empieza a reflejar hacia otros lados y ya no es una medición real de la concentración.

H8: Después los mínimos cuadrados, muy probablemente un punto, lo más seguro es que este punto de 500 esté quizás hasta descartado para observar una tendencia entre los puntos experimentales previamente analizados. Eh, sin embargo, considero que está bien, y por lo que yo imagino, la demanda química de oxígeno, alcanza un límite dentro del reactor y dentro de las condiciones a las cuales se va a llevar a cabo la experimentación en donde ella sabe que arriba de 500 o de 400 la demanda de oxígeno va a ser la misma. Entonces yo me imagino que ahí ya, ya no le conviene, por lo tanto se conforma con esos dos puntos y como sabe que esto se va a volver asintótico quizás el de 500 fue una comprobación que hasta 400 podría tener una buena lectura, porque es ahí en donde entran los límites de detección y los límites de cuantificación. Igual, por ejemplo pudo haber hecho una de 20, pero a ella no le

conviene porque su método no es tan robusto y solamente le permite hacer lecturas arriba de 50, entonces también eso influye en la decisión de la curva.

H27: Yo me imagino que aquí el blanco deben de ser las bacterias y después de las bacterias, ya comenzar a meter concentraciones del color.

Es de resaltarse el hecho de que el significado del concepto “blanco” en el análisis químico es situado o de base contextual, es decir, que el contexto del estudio en el que se sitúa la noción lo dota de significado. Aquí se le llama blanco al recipiente que contiene a una especie química que no absorba en la longitud de onda que absorbe la especie a analizar.

Es notable que ambos hablan de que hay una tendencia que no sería la ideal, mientras que *A* habla de que se pueda deber a que llegaron a la saturación algunas soluciones, *H* habla de que justo cuando se sature se va a hacer un comportamiento tendencial, es decir, por más que se agregue soluto ya no será posible que este se disuelva; por lo tanto marcará en el espectrofotómetro lecturas iguales o muy cercanas de absorbancia, perdiendo la linealidad.

No es simple medir una concentración haciendo uso de un espectrofotómetro. El analista químico debe conocer los motivos por los cuales puedan salir mediciones “raras”, es decir, mediciones que no corresponden al comportamiento que mostraban las demás. A *A* se le preguntó que a qué se refería con contaminante, a lo que contestó:

A41: A algo que pueda absorber, a un adulterante; porque luego los materiales puedan llegar a tener adulterados, de que tengan alguna otra sustancia que absorba cerca... por ejemplo, los alcoholes luego vienen contaminados con metanol y ese tipo de cosas, y en el espectrofotómetro los ves igual... Hay que auxiliarse de otros métodos analíticos.

El analista químico debe ser capaz de reconocer cuándo la matemática no basta para poder interpretar algunas cosas que suceden (o puedan suceder) al momento de leer información de las gráficas. También debe saber qué es aquello que siempre se queda en lo teórico y qué es aquello que sí tiene un fin práctico. Mostramos este fragmento entre la conversación de *A* y *E* en el que hablan sobre los casos en los que se tuviera una solución muy concentrada y otra en ausencia de analito.

A16: Por ejemplo si tuvieras una muestra que absorbe al cien por ciento, pues obtendrías una absorbancia infinita.

E17: Ya, ¿existe eso?

A17: No. Y si tienes muy poca muestra, entonces vas a tener una absorbancia muy baja.

E18: ¿Cómo si tiene muy poca muestra? Ah ya ya ya, si tienes una concentración muy muy baja, se espera eso...

A18: Así es.

Aquí se nombran los dos extremos, uno es cuando se tiene una concentración que no deje pasar nada de luz y otro cuando no existe el analito (por ende pasa toda la luz que incide). A afirma que teóricamente es factible de que dé una absorbancia infinita, pero en la realidad no pasa. Lo que sí es posible, es que si se tiene poca muestra, se absorba poca luz, como él mismo lo comentó.

En otro momento de la entrevista A habla sobre la importancia de hacer buenas mediciones e interpretaciones de lo que ocurre en la curva de calibración, pues incluso, por tomar una mala decisión o hacer una mala medición, se puede poner en riesgo la vida de alguien.

A70: Pero en otras industrias, por ejemplo en las industrias de los ansiolíticos y de ese tipo de cosas, donde las concentraciones son muy pequeñas... deben de tener sus curvas de calibración muy muy bonitas... para estar muy seguro de la concentración que tiene cada tableta, porque no solamente es la concentración, sino la vida de alguien, ¿no? Pudieras noquear a alguien si tienes una concentración mal medida.

Por otra parte, H da su postura sobre lo que pueda ser la causa por la que los puntos, en una región de la gráfica, dejan de seguir un comportamiento lineal.

H3: Es una curva que llega a una asíntota en donde ya no va a haber una variabilidad de absorbancia porque se alcanzó el máximo de la concentración, y por lo que veo aquí ya no hay mucha variación.

Pero reconoce que es posible que los puntos sí sigan un comportamiento lineal y que únicamente se haya tenido una medición errónea.

H4: Entonces por aquí sería interesante hacer... quizás poner un punto adicional o incluso poner puntos intermedios para ver cómo es la tendencia de estos dos últimos puntos y ver que en realidad se siga manteniendo la absorbancia.

Cuando se hace una curva de calibración, el analista químico debe decidir si usarla o no, ya que tiene que estar seguro que esa curva le arrojará buenas mediciones de concentración. Ellos únicamente consideran dos tipos de curvas, las buenas y las malas. Las primeras las pueden usar sin problema alguno, y cuando tienen una que puedan considerar mala, deben analizar por qué no les ha salido de la mejor manera. Se les preguntó si la gráfica que se les mostró en la entrevista era buena o no, a lo que *H* contestó:

H49: O sea, por más allá de que pueda yo acomodar estos puntos por mínimos cuadrados, no. No la considero como una buena curva de calibración. De hecho en la curva de calibración se debe de observar inmediatamente la tendencia y en esta no se nota. Más allá de que en estos puntos se mantengan ahí, al menos en los cinco primeros deben tener una buena tendencia.

Para que se pudiera hacer un mejor ajuste, se les propuso quitar el punto número cinco (el correspondiente a la concentración de 400 mg/L) y esto dijo *H* al respecto:

H52: De hecho yo el que quitaría sería este punto (refiriéndose al sexto punto). En realidad yo si voy a quitar uno, quitaría este, ¿por qué?, porque primero va a ser muy cuestionable, ¿cómo va ser posible que no hayas hecho la medida de un punto de 300 hasta 500 miligramos por litro?, y por ejemplo esta concentración, hablando en términos de medicamentos, es mucha concentración si tú estás vendiendo tabletas con una concentración de 400 miligramos y no estás considerando ese punto, tu medición está totalmente errónea, entonces... en base en lo que tú estás midiendo... vaya, lo que sea. Yo dejaría el quinto y quitaría el sexto punto, porque el quinto es el más cercano a la concentración previa.

Es de resaltarse que de acuerdo a criterios químicos y no estadísticos *H* sugiere que se quitaría el sexto punto y no el quinto como el investigador le sugirió.

En este apartado se observa la categoría del *uso de análisis de información* en el sentido de la descripción que hacen Cordero et al. (2010) abordado en el capítulo tres de este reporte en torno al uso de las gráficas. Bajo esta dirección se han realizado trabajos a la luz de la Socioepistemología, que dan cuenta que la práctica química, a partir de la graficación, puede ser considerada como una práctica generadora de conocimiento matemático.

5.2.3. Importancia de la linealidad

Cuando se realiza una curva de calibración, los analistas químicos procuran tener datos cuyo mejor ajuste matemático sea una línea recta, es decir, procuran que los datos que van a graficar estén alineados. En este apartado explicamos a qué se debe que procuren esto y qué pasa cuando el mejor ajuste no es precisamente una línea recta.

En una parte de la entrevista *H* habla sobre la distribución teórica a la que tendrían que ajustarse los puntos.

H3: Aquí lo que estamos observando, en primera instancia, que la absorbancia es directamente proporcional a la concentración, es decir, en cuanto la muestra esté más concentrada, la absorbancia va a ser mayor.

H15: Si, de hecho es la Ley, tal cual, de la que la absorbancia tiene que ser directamente proporcional a la concentración. Si aumentas la concentración, va a haber mayor absorbancia, y es la Ley de Beer.

Por su parte *A*, asume la linealidad que deberían de obedecer los puntos graficados de absorbancia contra concentración, aunque reconoce que en la realidad no siempre se ajusta a una línea recta y que puede no cumplir algunas leyes.

A2: Aunque en los últimos dos puntos está un poco raro porque hay que mencionar que no siempre la Ley de Lambert-Beer... no siempre es lineal en todas las regiones, por eso hay que hacer varias curvas, porque aquí parece que después de punto dos ya no está en la región lineal. Habría que ver otra cosa, ¿no?, habría que ver el siguiente punto.

Cuando A dice “hay que hacer varias curvas”, se está refiriendo a la necesidad de hacer tres curvas distintas para observar si siempre da una curva similar. A reconoce que no siempre obedecen un comportamiento lineal los puntos graficados, y comenta que habrá ocasiones en las que en un intervalo el comportamiento de los datos no será lineal y además habla de las razones por las que pudiera suceder esto.

A19: Desgraciadamente no lo es, fíjate... Una parte es lineal, pero llega un momento en que... Llega una especie de máximo, una meseta, y ahí se satura... Prácticamente se hace asintótica.

A40: Porque fíjate, si yo soy el jefe del analista le diría: pues aviéntate otro punto ¿no?, de la curva a ver qué... Digo, en el caso de la industria sería eso, ¿no?, aviéntate otro punto, dilúyelo, busca el factor o tiene un contaminante que está haciendo que absorba de más y hay que hacer otro análisis.

Cuando se les pregunta el rango de concentraciones para el cual se debe cumplir un comportamiento lineal A menciona:

H11: La curva de calibración sí, sí debe estar muy cercana a, este, al coeficiente de correlación más óptimo... porque de eso va a depender el resultado de la concentración que tú estés midiendo cuando tengas ya tu muestra problema.

H12: Que la influencia de la concentración sobre la absorbancia tenga una correlación y que sea directamente proporcional... porque de alguna manera estamos midiendo concentraciones crecientes y sabemos que la absorbancia va a cambiar, entonces, la mejor tendencia a esto, sería que fuera lo más lineal posible en la curva de calibración.

Cuando se les pregunta sobre la concentración que debe haber para que pueda seguir un comportamiento lineal A menciona:

A21: Eso depende del material, pero habitualmente a concentraciones bajas; a diluciones bajas funciona muy bien hasta que tengas una absorbancia de menos de uno. De más de uno, ya los valores ya habitualmente se vuelven muy raros.

Pero como hemos dicho antes, hay ocasiones en las que los datos no se comportan como lineales, ¿a qué se debe eso?, ¿qué hacer en estos casos? *H* argumenta sobre el por qué pueda ser que no cumpla con una recta

H20: La causa que pudiera hacer eso de que no cumpla es la mezcla de sustancias y no conocer la concentración de ellas... Si tú estás metiendo otras cosas que no las estás considerando y su concentración sí te afecta la absorbancia, podría ser la principal causa.

A habla de que hay que investigar qué es lo que está pasando cuando no es lineal.

A111: Hay que ver el modelo y no solamente confiarse en la curva, hay que investigar qué es lo que está pasando, o sea, que es lo que, por qué el modelo está tomando este comportamiento no lineal.

Y dice parte de lo que puede hacer en caso de que no sea lineal.

A109: Habitualmente las curvas son así, este, entonces lo que se hace es buscar alguna forma de linealizarlo. Por ejemplo, así como tienes esta curva, puedes sacarle logaritmo y puede que te dé una línea recta de logaritmo. O sea, lo más sencillo es obtener una línea recta, entonces puedes ajustar a un modelo de varias formas.

Cuando se les pregunta hasta qué concentraciones se pueden hacer las curvas de calibración sin tener problemas en que pierda la linealidad, A menciona que no únicamente va a depender de la concentración, sino de la especie que se esté analizando por lo que no es posible decir un número con exactitud. Va a haber ocasiones en las que los datos sigan un comportamiento lineal, pero después de un momento se puede hacer asintótico en una determinada concentración. Es decir, pareciera que a pesar de que la concentración cambie, la absorbancia empiece a mantenerse constante. A nos da una respuesta a lo que posiblemente pueda pasar.

A113: Puede que tengas una especie de concentración crítica en la que se empiece a agregar o se transforme la especie química en otra cosa y no absorba... Es una posibilidad.

A lo largo de este apartado se puede notar que interpretar y usar una curva de calibración resulta algo muy complejo, pues cada caso es especial y debe de investigarse a

fondo para poder tener una buena decisión en cuanto su uso o no. Se remarca la importancia de obtener la linealidad en la curva y las posibles causas que hagan que no se dé.

5.2.4. Interpolación y extrapolación en las mediciones

Los entrevistados señalan en repetidas ocasiones que no es correcto que se extrapolen las mediciones ya que se tiene total incertidumbre de lo que pasará en la región en que no cubre el gráfico, incluso señala *H* que se tiene incertidumbre sobre el comportamiento en concentraciones inferiores al punto más bajo que se haya hecho en la curva. Aquí un fragmento de la conversación.

H58: Sí, haz de cuenta que tú pones una concentración de 10 miligramos y no tienes un resultado de absorbancia, pues la sensibilidad del método no es adecuada. Tienes que cambiar mejor de método.

E59: ¿Y entonces no me serviría esta gráfica para concentraciones más pequeñas porque pueda ser que no sabes qué puede pasar ahí?

H59: Pues como te digo, si tienes 10 miligramos no vas a tener un resultado de absorbancia.

E60: ¿Aunque lo pueda extrapolar? Porque si lo extrapolo aquí yo...

H60: Lo tienes, pero experimentalmente no lo estás detectando.

H61: Imagínate que sea un medicamento para el corazón, que solamente necesitas 30 miligramos y le estás dando 50 miligramos, pues lo matas.

En lo laboral es común tratar con soluciones contaminadas cuya concentración no esté en el rango graficado en la curva de calibración. Para poder medir una concentración de este tipo, A da una opción de lo que se puede hacer.

A26: Si tienes una muestra así de laboratorio o de producción o algo, habitualmente la mandan en un frasco que pesa tantos gramos, ¿no?, y tú puedes hacer una dilución.

A27: Y ya puedes dejar en la molaridad de quieras y eso ya lo interpolas en tu gráfica.

Lo que A quiere decir, es que cuando tenga que analizar una muestra problema que tenga una concentración mayor a la concentración más grande que aparece en la curva de calibración realizada, entonces es necesario hacer diluciones de la muestra problema hasta que la concentración quede dentro del rango graficado. Cuando esté ahí, la medición de la concentración preparada va a ser fácil de calcular y se logrará un alto rango de confiabilidad y, puesto que se conoce el factor de dilución, es posible conocer la concentración de la muestra original.

Queda claro entonces que no es permitido hacer extrapolaciones en las curvas de calibración, pero sí interpolaciones. El mismo A señala que la interpolación entre los puntos graficados sí es permitida, ya que en ese rango sí se tiene más control y se podrán prever buenas mediciones.

A38: Que la gente haga una curva de calibración y de que los puntos le salgan por acá... arriba de la curva de calibración. Yo me he dado cuenta muchas tesis hacen eso y habitualmente yo les pido de que checa eso, de que no te estés saliendo... de tu curva, de que no estés extrapolando. Eso es en el ámbito académico... En la industria habitualmente no son válidos esos resultados, extrapolar no se vale.

Hace énfasis en que sí se puede interpolar pero no extrapolar.

A39: Interpolar sí, extrapolar no... Estás obteniendo una absorbancia muy alta, ¡ah caray! Lo primero que te preguntan, ¿está bien tu dilución? Y ya lo checas, ¿no? Inicias los cálculos, dices: no pues sí está bien. A ver, dilúyela a la mitad, dilúyela con un factor equis para ver cómo se comporta... y en base a eso ya se toman las decisiones. Porque no se vale extrapolar.

5.2.5. Consideraciones para quitar un punto de una curva de calibración

Se consideran varios aspectos para poder decidir si se puede quitar un punto de una curva de calibración trazada, o no. Estadísticamente puede llegar a ser correcto quitar un punto que no obedezca a los datos o que se salga de la tendencia marcada por los demás, pero en este caso no es posible. Se tiene que buscar más información, que ayude a tomar la decisión de dejar o quitar un punto que, al parecer, está fuera de la tendencia. De hecho, en la respuesta *H52* el entrevistado dice que químicamente sería más conveniente quitar el sexto punto y no el quinto.

Cuando se observa que un punto no obedece a la tendencia que marcan los demás, lo primero que se tiene que hacer es usar criterios estadísticos y posteriormente analizar más a detalle a la sustancia que se está midiendo.

A64: Por ejemplo haríamos algo así. Dices ¿qué pasó ahí? Este punto está muy mal. O quizá este (señalando) ¿no?, porque este tiene sus errores o desviaciones estándar más chiquitos o aquí estaría pasando algo raro.

A nos dice qué se debe hacer para poder decir si quitar o no un punto.

A86: Ahí habría que ver la dispersión, si lo hizo una sola vez, si lo hizo varias veces. Si lo hizo varias veces habría que ver cuál es el comportamiento de este punto, ¿no?, porque si lo haces al menos tres veces puede que tengas un punto acá, otro punto acá, otro punto acá... Pero si este, empieza a tener un punto acá, dices: ah está bien hecha. Entonces a lo mejor esta ya no es la parte lineal, ¿no?, de la... de este compuesto.

A87: Pero por ejemplo, si tienes un punto acá y un punto hasta acá, por ejemplo, y el otro acá. Dice uno, ¡ah caray! Entonces está mal medida, por eso... Esto es un criterio de desempate. Digo, habitualmente yo recomiendo que se hagan tres veces dentro del mismo experimento.

Se les planteó la opción de quitar un punto deliberadamente con el fin de que la gráfica ajustara mejor a una línea recata, considerando que matemáticamente es posible hacerlo. Esta fue la reacción de ambos:

A96: No, no no, no se vale. O sea, la curva sí mejora, pero quitar el punto porque simplemente no se ve bien, no, no se vale. Hay que ver por qué no sale

bien ese punto, no solo que no salga. El criterio no es que de un palito, ¿no?, no es que de una línea recta. El criterio es ver qué es lo que pasa, o sea, no, es extraerle más información a la línea recta.

H52: No lo puedes quitar así indiscriminadamente, hay muchos factores que te pueden ayudar a tomar esa decisión.

Señalan que en el análisis químico, si bien es indispensable conocer de matemáticas y particularmente estadística, no se puede aplicar deliberadamente por ejemplo el Criterio de Chauvenet²³, ya que se tienen que ver otros aspectos relacionados con el método de análisis y con la especie que se está analizando.

5.2.6. Sobre el significado asociado a la pendiente de la curva

¿Qué quiere decir que la curva esté muy inclinada o no? es decir, ¿cómo se interpreta la pendiente? Se les cuestionó a los analistas sobre esto con el fin de observar si para ellos influye tener una pendiente con un valor pequeño o grande.

Para *A* el significado de la pendiente es:

A31: Esa pendiente habitualmente tiene que ver con el coeficiente de absorción molar.

Para *H* el significado es:

H23: Digamos que la pendiente te va a dar una aproximación de cuáles serían los cambios en las concentraciones pequeñas... El cambio en las concentraciones pequeñas de 300 a 400, digamos que se podría mantener como una constante, entonces esa es la magnitud física que tú vas a mantener entre la distancia de esos dos puntos... Entonces sí, es como que la proporción que va cambiando de dos concentraciones.

²³ El Criterio de Chauvenet es un método para calcular si un dato, de un conjunto de datos experimentales, es probable que sea un valor atípico. Después de una serie de cálculos se puede determinar si el dato se puede descartar.

H24: Es el cambio proporcional que existe entre dos concentraciones, en este caso, por ejemplo, ya sea de 300 a 400, y que va a ser constante a través de toda la línea.

La respuesta que dio *A* es más teórica (químicamente hablando) que la de *H*. Lo que *A* dijo viene de la expresión matemática de la Ley de Beer que está dada por:

$$A = abc$$

Donde *A* es la absorbancia, *a* es el coeficiente de absortividad molar, *b* el espesor de la celda y *c* la concentración de la especie a analizar.

La absorbancia es la variable dependiente y la concentración sería la variable independiente. Por lo tanto, el producto *ab* será la pendiente de la recta, pero puesto que el espesor de la celda, *b*, es constante, entonces la pendiente dependerá exclusivamente del valor del coeficiente de absortividad molar, tal y como lo mencionó *A*. Entonces, si una curva presenta una pendiente grande, querrá decir que la sustancia a analizar tiene un coeficiente de absortividad molar grande, y viceversa.

La repuesta que dio *H* es más apegada a la definición matemática que comúnmente se conoce de la pendiente de una recta. Habló de cambios y de proporcionalidad, que en algún sentido le sirvió para explicar la pendiente.

5.2.7. Sobre el parámetro R^2

En una parte de la entrevista se les pide que a *ojo de buen cubero* realicen una curva que obedezca a los puntos que se obtuvieron experimentalmente en un trabajo de tesis que se les mostró. *A* hace un ajuste lineal, y *H* hace un ajuste donde primero es lineal y luego se empieza a hacer asintótico después de 400 mg/L. El argumento de *A* es que los puntos deberían de obedecer a una línea recta y por eso hace un trazo de tal manera que la recta trazada pase lo más cercano posible a todos los puntos. Cuando él traza la recta, argumenta que los puntos para la concentración de 400 y 500 mg/L le parecen extraños ya que se pierde la linealidad y hace que la curva de calibración analizada sea mala.

A83: Sí es medio malona porque si está midiendo una demanda en miligramos por mililitro, entonces... como que algo me parece raro. Luego estos dos puntos. Los dos puntos que están al final me parecen un poco raros.

La recta que traza A se muestra en la figura 19.

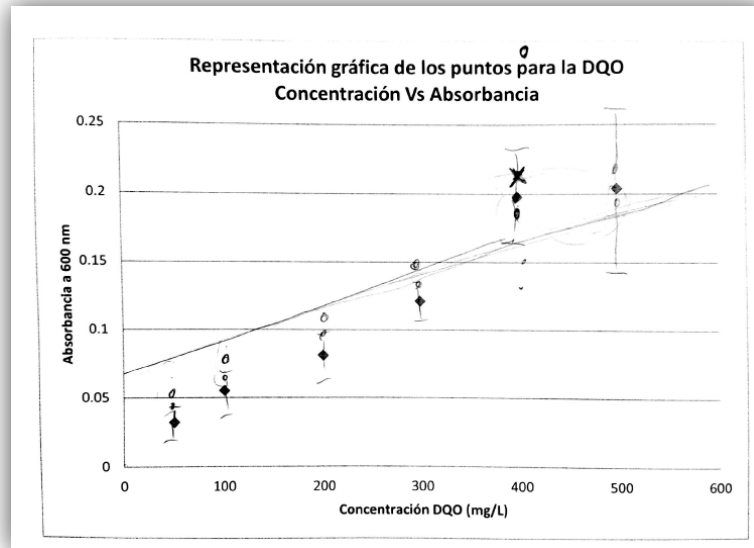


Figura 19: Curva de ajuste realizada por A.

Por su parte *H* hace el trazo que se muestra en la figura 20. Él considera que después de la concentración de 400 mg/L la curva tiende a hacerse asintótica y que posiblemente se deba a que la solución se satura a esa concentración.

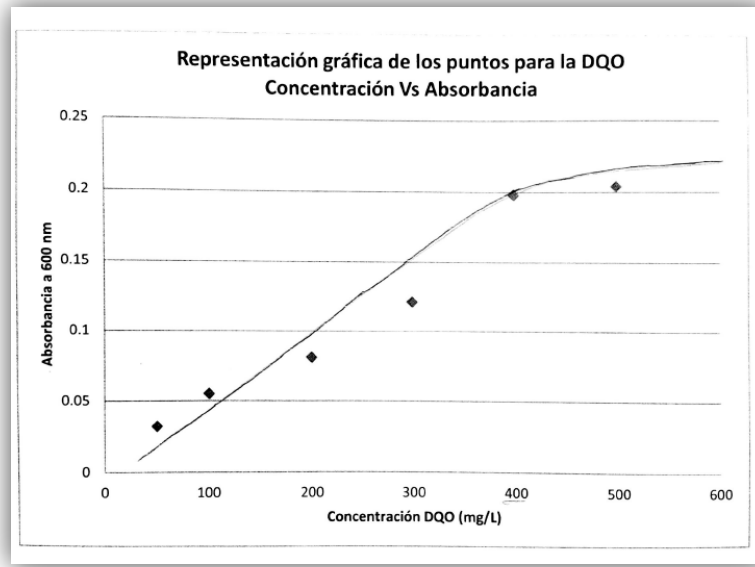


Figura 20: Curva de ajuste realizada por *H*.

Cuando se traza una curva de calibración siempre sale a flote el parámetro R^2 . Este parámetro, aunque estadísticamente no sea tan complejo, en la práctica del análisis químico se debe tratar con especial atención. A describe porqué se debe tener mucho cuidado con el uso del parámetro R^2 .

A103: El coeficiente de determinación es este, la R^2 , y ese solamente nos va a decir qué tan bien está ajustado tu modelo de mínimos cuadrados a la ecuación que tú generaste. O sea, es la desviación entre la ecuación que tú tienes y los... y en dónde están los puntos. Fíjate, si tienes una R^2 de, de, muy baja, habitualmente representa que, puede que tu modelo no sea lineal, pero hay que tener mucho cuidado cuando tienes una R^2 alta. Hay que verlo así, tanto como gráficamente como ver otros parámetros... Porque bien puedes tener una R^2 de uno si tienes por ejemplo, vamos al caso opuesto, si tienes un punto acá, un punto acá, un punto acá, un punto acá... un punto, vamos a hacerlo más grande. Un punto acá, un punto acá y un punto acá (Poniendo varios puntos sobre una gráfica dibujada por él mismo). ¿Qué dices? Este va a anular a este y aun así puedes tener una R^2 de uno. Tú ves que está perfecta la recta, pero ves la gráfica y pues no, eso es un artificio matemático al final de cuentas.

En la figura 21 se muestra la gráfica que realizó mientras nos explicaba lo anterior.

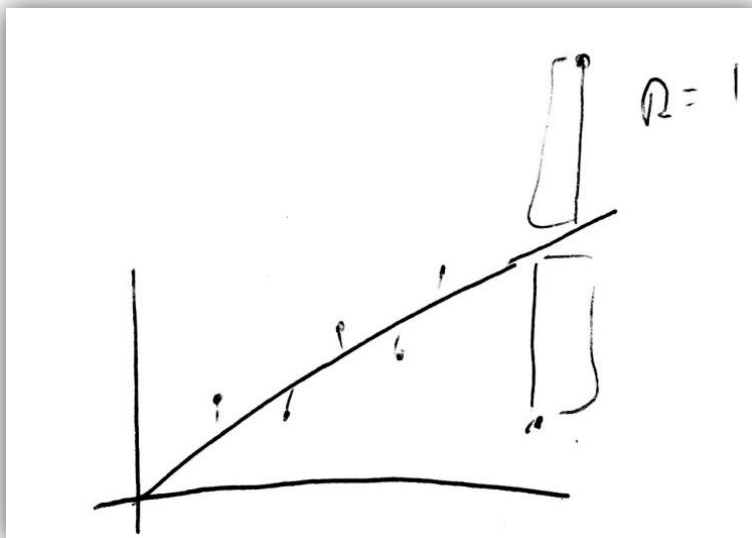


Figura 21: Gráfica de un $R^2=1$ según A.

Remarca que se tiene que tener cuidado, pues una R^2 de uno no siempre indica que es una buena recta, por lo tanto no garantiza que la curva de calibración sea buena para usarse.

En el caso de *H*, él afirma que con que el valor de R^2 sea de 0.95 se puede decir que se tiene una buena ecuación de ajuste.

H51: Pues se considera aceptable arriba de .95. La mayoría de los casos. Pero sí, debe ser lo más cercano a uno. Abajo de... es que hasta 9 todavía podría aceptarse.

Nos resulta interesante ver que tanto *A* como *H* transfieren algunos de sus conocimientos matemáticos, que fueron aprendidos durante su formación académica, hacia la interpretación de las curvas de calibración, pero dotándolos de significación. Resaltamos que ambos le quitan el estatus a R^2 de “conocimiento que valida” y lo ponen en una especie de “herramienta que guía” por el hecho de que el resultado numérico no es por sí mismo, sino que se acompaña con un análisis del problema químico.

5.2.8. Sobre las diferencias que pueda haber entre lo laboral y lo escolar en cuanto al uso e interpretación de las curvas de calibración

Cuando se le cuestiona a A sobre el número de puntos necesarios para que se pueda decir que se tiene una buena curva de calibración, argumenta que el número de puntos, si bien es importante, no es todo lo que se tendría que analizar ni lo que tenga mayor importancia para poder decir si se tiene una buena curva de calibración o no.

A8: Hay que ver otras cosas... la dispersión de los puntos... ver los estadísticos de esa curva, ver los estadísticos de esos puntos, no solamente la curva y que tenga una bonita recta.

A reconoce algunos elementos de lo escolar que son principios en el análisis químico y a la par da argumentos que refuerzan dichos elementos desde su experiencia profesional. Lo que a continuación se muestra, es un fragmento de lo que contestó cuando se le preguntó sobre la relación que existe entre absorbancia y transmitancia.

A48: También varía fíjate, depende del experimento que estés haciendo, precisamente. Habitualmente el infrarrojo se mide más en transmitancia... No conozco yo mucho de infrarrojo, pero sí he visto que a veces se llegan a obtener espectros de absorbancia en infrarrojo y los transforman a través de una relación como logarítmica.

A50: El porcentaje de transmitancia creo que está relacionado con... yo creo que dos por el menos logaritmo de la absorbancia o algo así, fíjate. No me acuerdo muy bien.

El hecho de que no recuerde exactamente cómo es la fórmula que relaciona a la absorbancia con la transmitancia, se debe a que es un conocimiento que fue aprendido cuando estudiaba la licenciatura y no ha sido usado por él.

Se les cuestiona sobre el por qué no se pone el cero coma cero cuando se traza una curva de calibración. Nosotros pensamos que ese punto sí debería de considerarse, ya que cuando se hacen las mediciones de absorbancia para las distintas concentraciones, también se

hace una medida cuando la concentración es cero y aquí la absorbancia se ajusta a cero; a esto se le conoce como *poner el blanco*. Sin embargo, ni en el aula de clases o en los laboratorios escolares ni en lo laboral suele ponerse este punto. El mismo *A* reflexiona sobre esto cuando se le cuestiona acerca el valor que tendría que tomar la absorbancia cuando la concentración es cero. En varias intervenciones acepta no haber visto que se ponga el cero coma cero en las curvas de calibración.

A54: Teóricamente tendría que ser cero, pero viendo todo esto, pues... No es determinable.

A57: Realmente no, en la industria no se ponía.

A59: Si, pero ahora que mencionas no, eh. Rara vez he visto a alguien que ponga cero coma cero.

Referente a esto *H* argumenta:

H37: No. Tú lo tomas ya como cero y haces tu gráfica normal. Pero no pones la lectura inicial real pues.

Otra cosa que salió a flote cuando se habló sobre las diferencias entre lo escolar y lo laboral, es en cuanto al trazado correcto de la curva de calibración. En lo escolar es común que se enseñe en las clases teóricas y en las prácticas (laboratorios escolares) que se deben preparar un número determinado de concentraciones conocidas para medir la absorbancia de cada una de estas soluciones; mientras que en lo laboral es común que se preparen tres soluciones madre (una para cada curva de calibración) de cada una de las concentraciones con el fin reducir el margen de error de las lecturas futuras cuando se realice la curva de calibración.

A63: Mi impresión es que está más o menos bien hecha, hay algo que, que me intriga. Que habitualmente he visto que... a nivel académico hacen los puntos a veces una sola vez y habitualmente en la industria son por triplicado.

Y *H* dice:

H39: Si yo quiero hacer una lectura, por lo menos debo de tener tres puntos y obviamente esos tres puntos también deben de incluir la concentración o la absorbancia que yo busco.

H57: Todas las lecturas que se tengan que hacer y no solo en la industria sino en cualquier análisis... todas las lecturas tienen que ser por triplicado, para que de esa forma tú también saques un promedio de esas lecturas y con esa tú también puedes asegurar que las lecturas que te está dando el equipo están siendo confiables.

Hacer por triplicado las mediciones y la preparación de las soluciones, afirman, hará que se tenga más confiabilidad en las mediciones, ya que si un punto marca un comportamiento no lineal o una tendencia diferente a la que habrían mostrado las demás, entonces, al hacer tres curvas se podrá observar si solo fue una mala lectura en el espectrofotómetro, si no se preparó bien la solución o si efectivamente el comportamiento que marca ese punto es correcto.

Además *H* argumenta:

H40: Si yo quiero tener una lectura mayor, porque eso pues tú lo vas a considerar dependiendo la concentración que estés usando, tendrías que poner tres puntos más. O sea, para poder hacer... que incluya a la lectura que tú quieres hacer, tu curva de calibración tiene que tener al menos esos tres puntos. Bueno, uno intermedio, uno por arriba y uno por debajo de lo que tú buscas.

Otra diferencia entre lo escolar y lo laboral, es que en lo primero es común que se hagan extrapolaciones cuando se usan las curvas de calibración.

A38: Yo me he dado cuenta muchas tesis hacen eso y habitualmente yo les pido de que checa eso, de que no te estés saliendo... de tu curva, de que no estés extrapolando. Eso es en el ámbito académico... En la industria habitualmente no son válidos esos resultados, extrapolar no se vale.

H resalta algunas diferencias que ha notado en la forma en la que se tratan a las curvas de calibración en lo académico y en lo laboral.

H56: Hay diferencia porque en un trabajo ya no vas a aprender, sino que la interpretación de la gráfica es que te dé lo mejor posible, más allá de que el analista sepa o no cómo está la teoría del diseño de una curva de calibración, el

objetivo es siempre lograr la mejor dispersión de tus puntos y en la escuela sí hay mucho énfasis en hacerlo bien e incluso hasta en graficarlo a mano todavía. Ya después cuando te vas dando cuenta que el Excel hace maravillas y cualquier otro programa también... En el ámbito laboral el resultado es lo que importa más allá de que sepas el fundamento de la calibración, que eso está mal, al final no es muy bueno, pero sí es como que el compromiso propio de saber qué es lo que estás haciendo. Y además eso te ayuda cuando se trata de este tipo de problemas y dices: bueno, pues no está la tendencia como tendría que ser, entonces comienzas a ver cuál es el fundamento de tu técnica y es ahí en donde puedes echar mano de los conocimientos que adquiriste en la escuela para poder modificarla y corregirla sin meterle ahí datos inexistentes, sino hacerlo de la mejor manera.

Resaltamos la parte en donde *H* acepta que muchas veces en la industria no se necesita conocer los fundamentos de la técnica de análisis, pero que el conocerlos ayudará al analista a modificar y corregir las curvas de calibración que pudieran llegar a salir de una forma poco común.

La construcción, interpretación y uso de las curvas de calibración es sustancialmente diferente en el ámbito laboral respecto al escolar. En cuanto a la construcción se habla de que en lo laboral se hacen las mediciones por triplicado y en lo escolar no; en cuanto a la interpretación podemos decir que en lo escolar únicamente se hace un análisis superficial de manera que si no se conserva la linealidad, no importa, pero en lo laboral causará problemas el tener una curva que en primera instancia pareciera no conservarla; y en cuanto al uso resaltamos la idea de que en lo laboral únicamente está permitida la interpolación entre las mediciones y en lo escolar se permite normalmente interpolar y también extrapolar.

5.3. Similitudes y discrepancias encontradas cuando diferentes profesionistas analizan una gráfica de su propio campo disciplinar

Para poder hacer esta comparación, se revisó a detalle la investigación realizada por López-Ballesteros (2009), quien llevó a cabo un estudio sobre los usos e interpretaciones que los Investigadores de Mercado hicieron de una gráfica que comúnmente usan en sus actividades profesionales. Esta gráfica recibe el nombre de Curva de equilibrio Precio-Calidad en el campo de la investigación de mercados. Entonces, en este apartado mostraremos un contraste entre las interpretaciones que los investigadores de mercado hacen sobre una Curva de equilibrio Precio-Calidad y las que los analistas químicos hacen de una curva de calibración.

En la tesis de López-Ballesteros se representa a los Investigadores de Mercado entrevistados con las letras **Y** y **V**.

5.3.1. Similitudes

Primera:

Para el análisis no es necesario mirar a la gráfica como una todo, basta con mirar el rango en el que se pueda obtener más información y en el que las variables cobren sentido.

En ambas interpretaciones se requiere observar de manera detallada el rango en el que se está realizando la gráfica, ya que esto les dará información relevante para la toma de decisiones.

En el análisis de las entrevistas que hace López-Ballesteros se lee:

“**Y** observó todos los componentes de la gráfica, incluyendo el rango de los valores representados en los ejes...”

Con esta respuesta se observa en un primer momento que la intención de **Y** es ubicar espacialmente las dimensiones del plano para poder interpretar adecuadamente la ubicación que tienen las marcas... debe ubicar espacialmente la diferencia entre las escalas para que la interpretación de la posición sea adecuada”. (López-Ballesteros, 2009, p. 70-71).

En el caso de las curvas de calibración también es necesario observar el rango, ya que, por lo regular, este tipo de curvas tienen que estar graficadas únicamente para concentraciones pequeñas. Si se llega a tener una curva de calibración graficada para concentraciones grandes se corre el riesgo de perder la linealidad del modelo matemático de ajuste. Entonces pues, el rango de las curvas de calibración será de cero a valores pequeños de concentración. Hacemos énfasis en que no se puede conocer con exactitud el valor numérico de un valor *pequeño de concentración*, ya que eso depende de la especie química a estudiar.

En el discurso escolar asociado al concepto de función es común que las gráficas se miren como un todo: hay valores negativos y positivos para *equis* y *ye*, aparecen cuatro cuadrantes, hay intersecciones con los ejes y otros elementos que aparecen en el plano cartesiano. En los casos presentados, la gráfica únicamente se inserta en un solo cuadrante, en el de los números positivos, ya que es ahí en donde estas gráficas adquieren sentido y significación.

Segunda:

Cada uno de los elementos que componen la gráfica tiene una función específica. En los ejes es donde más información se puede observar.

Otro punto importante es que para la interpretación de las dos curvas (la de Precio-Calidad y la de calibración) es primordial comprender el significado de los ejes, ya que es este es el elemento de la gráfica que más información da.

“En cuanto a la descripción de los elementos observados en la gráfica, **Y** centra su atención en los ejes.

A partir de la comprensión del significado de los valores de los ejes, **Y** hace una primera interpretación de los atributos presentados en *x*, Imagen del Precio, y en *y*, Imagen de Calidad, y establece la relación que existe entre los valores de los atributos.

Y caracteriza a las marcas según su posición en el plano mediante el uso de adjetivos calificativos o descripciones; por ejemplo, menciona que las marcas

que tienen *mejor imagen de precio* son aquellas que están ubicadas en el valor más alto del eje x, mientras que las marcas que tienen *mejor imagen de calidad* son las que se ubican en un valor más alto del eje y". (López-Ballesteros, 2009, p. 71).

En el caso de las curvas de calibración, la importancia de los ejes se resalta, ya que con su análisis es posible determinar las concentraciones a las que se hizo la curva, el rango de absorbancias que dieron para las diferentes concentraciones, el momento en el que se pierde la linealidad (si es que ocurre), la longitud de onda a la que se trabajó y la especie química que se analizará.

Tercera:

La linealidad como un requisito para el buen uso de las gráficas.

Que varias marcas se encuentran en equilibrio Precio-Calidad, explica López-Ballesteros, quiere decir que, si se grafican estas dos variables, su representación gráfica sería una recta. Para proponer un buen precio de un producto nuevo, es necesario ubicar al punto sobre la recta que se realizó previamente con los estudios de mercado, esto con la finalidad de no tener un precio más alto o más bajo que la calidad de lo que se vende, sino que el precio esté de acorde con la calidad del producto señalada por los consumidores. Entonces, es mejor tener una gráfica cuyos puntos estén alineados para poder usarla cuando se propone el precio de un producto. Esto es similar a lo que ocurre con las curvas de calibración, en donde también se tiene que procurar la linealidad. En el apartado 5.2.3 lo explicamos a detalle.

Cuarta:

La interpretación y uso de las gráficas está íntimamente ligada a nociones que solo cobran sentido su propio campo disciplinar.

En las argumentaciones de los entrevistados en las dos investigaciones (en esta y en la de López-Ballesteros) aparecen nociones que únicamente poseen un significado determinado en su propia área, es decir, aparecen nociones que son situadas o de base contextual. Las

nociones de *equilibrio* y *blanco* son de las que hablamos. La primera, en la investigación de mercados, es una condición de las marcas en donde su imagen de precio está en concordancia con su imagen en calidad; y la segunda, en el análisis químico, tiene que ver con la celda que contiene a una sustancia que no absorba luz en la longitud de onda que absorbe la sustancia a analizar. Para describir, analizar, interpretar o usar estas gráficas es indispensable para los profesionistas hacer uso de este tipo de nociones.

La Teoría Socioepistemológica no mira a los conceptos y a este tipo de nociones de manera aislada, sino atiende a las prácticas que producen o favorecen su necesidad, enmarcando aquellos momentos y escenarios en donde cada noción cobra sentido.

Quinta:

Las gráficas, además de ser generadoras de conocimiento, son un medio que permite la toma de decisiones.

Ambas gráficas pueden mostrar mucha información que servirá para tomar decisiones. El análisis profundo de la curva de equilibrio Precio-Calidad podrá indicar si un producto generará muchas utilidades, si es posible que se obtengan pérdidas, si el precio es acorde con la calidad del producto, si es necesaria o no la publicidad de un producto para que se pueda vender..., entre otras. La curva de calibración puede indicar si se obtendrán resultados confiables en una medición, podrá dar información sobre si están bien preparadas las diluciones con las que se elaboró la curva, podrá señalar en qué momento se satura una solución, entre otras que mostramos en el apartado 5.2.

Sexta:

Si bien, en el ámbito laboral el lenguaje disciplinar juega un papel importante en cuanto a la interpretación y uso de las gráficas; el lenguaje formal puede pasar a segundo término.

En ambas interpretaciones, las nociones matemáticas, aunque juegan un papel importante, muchas veces no son llamadas ni usadas de la forma en la que se usa en el

ámbito escolar. Tanto los investigadores de mercado como los analistas químicos, siempre dan argumentos prácticos en lugar de usar definiciones muy estructuradas. Decir frases como “la curva está más parada” o “este es el cruce con el cero” es una forma simplista de decir que se tiene una pendiente mayor o de que ese es el punto en donde la recta cruza al origen en el plano cartesiano.

Séptima:

Uso de ambas gráficas como plano que orienta.

En ambas investigaciones, el uso de las gráficas como plano que orienta determina la forma en que se da lectura a la gráfica, ya que las interpretaciones que surgen y los argumentos que las sostienen, se realizan con base en la ubicación e interacción de los elementos presentes en las gráficas, y es por su ubicación en el plano que los puntos poseen determinadas características relativas a los atributos o variables que están en juego.

5.3.2. Discrepancias

Primera:

En la interpretación de curvas de calibración no se usan frases como “más hacia la derecha”, “por arriba de la línea”, “ligeramente arriba de...” En el caso de la interpretación de las curvas de equilibrio Precio-Calidad sí es necesario. En la página 72 de López-Ballesteros lo muestra.

Segunda:

El posicionamiento de cada uno de los puntos en una curva de equilibrio Precio-Calidad permite clasificar al producto que se está analizando; es decir, con una sola imagen

del precio y de calidad pueden saber si la marca de algún producto tendrá una buena ubicación en el mercado. En la figura 22, que tomamos de López-Ballesteros, se muestra lo dicho.

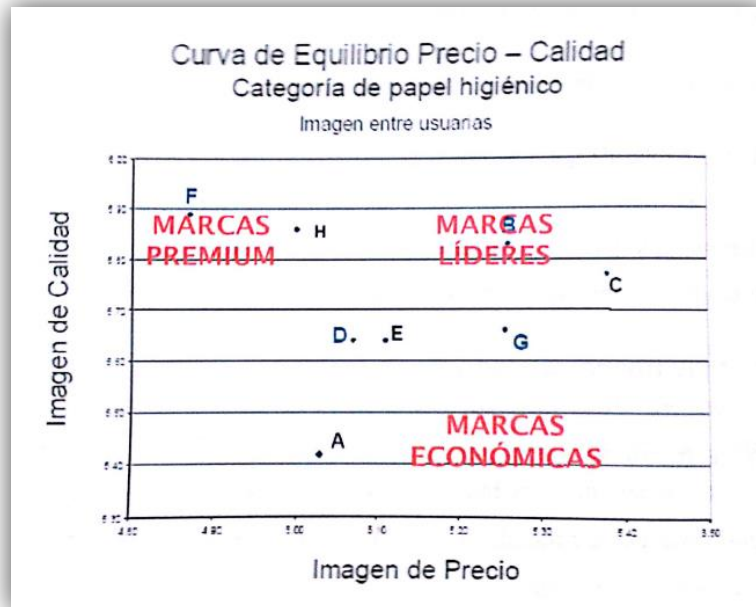


Figura 22: Ubicación espacial del tipo de marcas

No pasa así para la curva de calibración, ya que en esta se necesitan al menos tres puntos para poder dar una opinión sobre lo que se está analizando y los resultados que se podrán obtener. En esta, el análisis de un solo punto no da información relevante.

Tercera:

Es común que se fraccione en cuatro regiones a la Curva de equilibrio Precio-Calidad con el fin de clasificar a las marcas con base al grado de posesión de ciertos atributos. Los entrevistados proponen cuatro regiones dentro de la misma gráfica. Dichas regiones se muestran en la figura 23 del trabajo de López-Ballesteros.

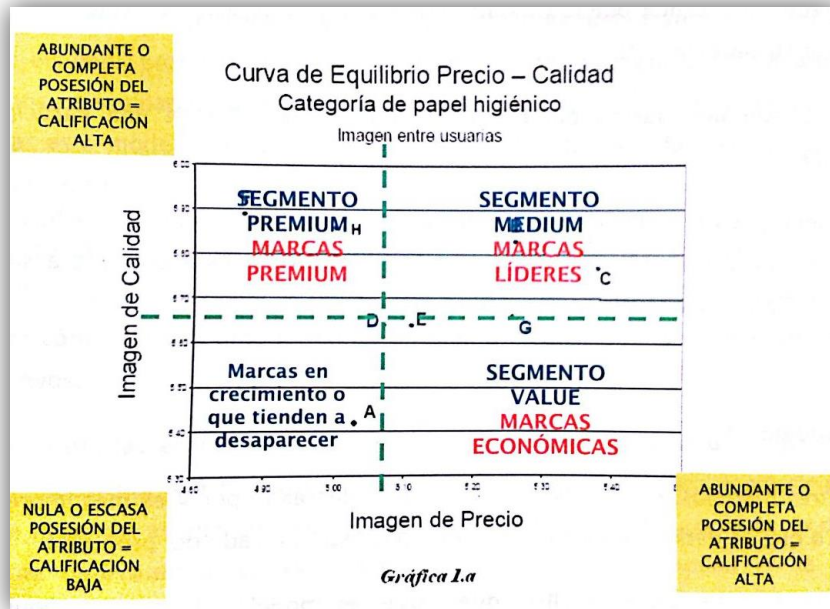


Figura 23: Fraccionamiento de la gráfica mostrada en López-Ballesteros (2009).

En cuanto a los entrevistados en esta investigación sobre el uso de curvas de calibración, no hubo un momento en el que hicieran alusión a algún tipo de fraccionamiento o partición de la curva con fines de obtener información o conclusiones sobre la misma.

CAPÍTULO 6

A MODO DE CONCLUSIÓN

“Si los hombres han nacido con dos ojos, dos orejas y una sola lengua es porque se debe escuchar y mirar dos veces antes de hablar”

MADAME DE SEVIGNÉ

(1626-1696)

El hecho de que comúnmente en la escuela se lleve a cabo una centración en conceptos y en formalismos, ha llevado a concebir a la matemática sin sentido y sin razón de ser aprendida. La matemática tendría que ir adquiriendo sentido y significación a lo largo de los cursos escolares. En las carreras de ingeniería por ejemplo, aunque se enseñan conocimientos “aplicados”, existe de alguna manera la inquietud en los alumnos de que la matemática no se aplica o se aplica muy poco, quedando como una *materia de relleno* pese a que es la materia que más créditos posee en los planes y programas de estudio de estas carreras. En el campo laboral, la matemática adquiere un verdadero sentido y razón de ser, es ahí en donde el profesionista puede resolver problemas reales y tomar decisiones haciendo uso de ella.

La investigación que aquí presentamos se realizó siguiendo el método de estudios de casos a través de una entrevista de tipo participativa que se les hizo a profesionistas del área del análisis químico. Hacemos énfasis en la necesidad de que el investigador tuvo que apoderarse en lo máximo posible de los elementos teóricos del campo disciplinar estudiado, ya que estos salieron a flote al momento de obtener la evidencia empírica. Si el investigador no se apoderara de estos elementos, difícilmente hubiera podido interpretar o analizar los datos.

Este trabajo nos permitió mirar el uso de una gráfica, en un escenario diferente al aula, al estudiar la comunidad de los analistas químicos, en donde la matemáticas no es el foco de su actividad, pero se hace uso de esta para dar respuesta a los problemas propios de su campo disciplinar. Aquí el rol de la matemática no fue precisamente el objeto de estudio, pero proveyó de funcionamiento matemático expresado en argumentos y procedimientos, aunque estos distaron de parecerse a los establecidos en el discurso Matemático Escolar. Estos argumentos y procedimientos de la matemática se hacen presentes, no de la matemática como la conocemos, sino una matemática que vive y se resignifica en su quehacer

disciplinar. Observar lo anterior solo es posible con la lupa de la Socioepistemología, ya que a diferencia de otras corrientes teóricas, esta considera como plano central lo social y cultural que rodea al humano. Dependiendo de dónde este se sitúa, será la construcción y uso del conocimiento matemático, ya que se considera que el conocimiento que emerge y su uso son situacionales (Marín, 2014).

Hemos documentado significados atribuidos a objetos y conceptos matemáticos presentes de manera implícita en contextos que adquieren sentido en el escenario del análisis químico. Además, mostramos evidencia de que el contexto permitió a los analistas químicos usar conocimientos matemáticos, valiéndose de esos significados, para generar interpretaciones y conocimiento acerca de su campo disciplinar. Estas evidencias constituyen un elemento que da luz al estudio de los procesos de transferencia del conocimiento matemático escolar a la práctica profesional, que quieren encarar las investigaciones que se realiza en el marco de la Socioepistemología.

La Socioepistemología reconoce cuatro dimensiones de la construcción del conocimiento mirándolas de manera sistémica, nosotros las hemos identificado en este trabajo: identificamos la dimensión social considerando a la graficación como práctica que vive y se resignifica en el seno de la comunidad de los analistas químicos; la dimensión epistemológica distingue los usos y formas de la gráfica de acuerdo al escenario, sin enfocar la atención hacia los conceptos u objetos matemáticos que se han heredado del dME; la dimensión cognitiva asume que el saber se construye cuando se pone en funcionamiento al conocimiento, y este a su vez, se sustenta por mecanismos que se han desarrollado en el seno de las prácticas propias del individuo; y finalmente la dimensión didáctica que se ocupa de la difusión del conocimiento a través del dME, examinando sus implicaciones didácticas y las resignificaciones del conocimiento matemático.

La Socioepistemología afirma que las gráficas no solo son objetos que se enseñan y usan en la escuela, sino que su aprendizaje, resignificación y uso se extiende a los dominios sociales, en donde la gráfica no es únicamente un objeto matemático, sino que es un portador de información que es requerida por el ciudadano común y que cuando se lee una gráfica, su interpretación está íntimamente ligada al contexto y a los motivos sociales.

En el transcurso de esta investigación hemos tenido que analizar profundamente los elementos que conforman a la gráfica que en el campo disciplinar del análisis químico recibe el nombre de Curva de calibración. Un elemento que resaltó fue el plano cartesiano. Este es un objeto matemático que está institucionalizado en el discurso escolar, quien dice que tracemos dos líneas perpendiculares como sistema de referencia, una horizontal y la otra vertical. A la horizontal le llamamos eje de las abscisas y a la vertical eje de las ordenadas. En la primera se pone la variable independiente (que comúnmente llamamos *equis*) y en la segunda la variable dependiente (que comúnmente llamamos *ye*). Este sistema de referencia institucionalizado no siempre permite que se pueda dar un tránsito entre lo escolar y lo laboral, ya que en ocasiones no es fácil decir quién es la variable independiente y quién la variable dependiente, o incluso se puedan tener situaciones reales en las que el uso de alguno de los ejes no sea necesario. Nosotros hemos evidenciado que el llamar a una variable dependiente o independiente está íntimamente ligado a la situación y al momento de uso de la gráfica, y que no puede asumirse siempre de entrada en qué eje irá alguna variable.

En la sección de resultados levantamos 7 enunciados con una breve explicación sobre regularidades encontradas en los análisis de las gráficas que hacen profesionistas de dos diferentes campos disciplinares, en el de la investigación de mercados abordado por López-Ballesteros (2009) y en el del análisis químico que se estudió aquí: 1. *Para el análisis no es necesario mirar a la gráfica como una todo, basta con mirar el rango en el que se pueda obtener más información y en el que las variables cobren sentido*, 2. *Cada uno de los elementos que componen la gráfica tiene una función específica. En los ejes es donde más información se puede observar*, 3. *La linealidad como un requisito para el buen uso de las gráficas*, 4. *La interpretación y uso de las gráficas está íntimamente ligada a nociones que solo cobran sentido su propio campo disciplinar*, 5. *Las gráficas, además de ser generadoras de conocimiento, son un medio que permite la toma de decisiones*, 6. *Si bien, en el ámbito laboral el lenguaje disciplinar juega un papel importante en cuanto a la interpretación y uso de las gráficas; el lenguaje formal puede pasar a segundo término* y 7. *Uso de ambas gráficas como plano que orienta*.

La mayoría de los resultados a los que llegó López-Ballesteros en su investigación salieron a flote también en este trabajo, por lo que podemos afirmar que sus resultados fueron

estables ante el cambio de escenario y de investigador. El hecho de que un resultado pueda observarse en otras investigaciones similares realizadas bajo la misma perspectiva teórica, implicará en que este pueda tener un cierto grado de validez que no tenía cuando solamente se había obtenido en una sola investigación. En el estudio de López-Ballesteros y en el nuestro se mostró, entre otras cosas, que las gráficas son portadoras de información que será interpretada despendiendo la mirada y la formación de quien la lea, y que estas tienen un significado y un sentido del cual se puede obtener información, tomar decisiones y hacer análisis de algún suceso específico. Además, en ambas investigaciones la graficación dejó de ser considerada como la representación de expresiones analíticas o de datos que comúnmente considera la matemática escolar, para ser concebida como un objeto a través del cual se puede generar conocimiento. En nuestros estudios, se mostró al investigador de mercados y al analista químico usando representaciones gráficas, pero no en el sentido de los libros de texto o mediante una fórmula o regla de correspondencia, sino desde el punto de vista del saber funcional, expresado en su discurso y en su práctica, todo ello para la toma de decisiones.

Cuando se realizan actividades en el campo de profesiones en las que se tiene una sólida formación en matemáticas, como es el caso de las ingenierías, la economía, la biología o la química, es común que se hable de que los profesionistas usan a la matemática para resolver problemas reales. Con estas investigaciones se ha dado luz de que no solo se usa, sino también se construye conocimiento matemático de manera no formal para resolver problemas que se presentan en el ámbito laboral.

En ambas investigaciones se consideró como premisa que los profesionistas darían argumentos poco formales, basados en su propia experiencia, que puntualizarían más en lo funcional y restarían importancia a cuestiones teóricas. Esto fue evidenciado a lo largo de las entrevistas que se les realizaron, en donde se usaron argumentos que, aunque parecieran poco formales, tenían un significado asociado a su propio campo disciplinar. El significado de los conceptos y objetos matemáticos fue función pues, de la actividad desarrollada.

Para los investigadores de mercados la gráfica abordada tiene la función, a groso modo, de mostrar información sobre el precio que puede asignarse a un producto y sobre el impacto posible que este tendría en el mercado. Para los analistas químicos, la gráfica en

cuestión tiene la función de dar información acerca de la cantidad de una especie química en un volumen dado y ayuda a monitorear la generación o consumo de una especie química al llevarse a cabo una reacción. En ambos casos la gráfica es un objeto matemático que sirve para la toma de decisiones. Resaltamos entonces que un libro o un currículo refleja una manera particular de ver la matemática, construida institucionalmente; pero para otro individuo o grupo social, dicha matemática varía según sus necesidades, sus explicaciones, sus usos y su funcionalidad (Gómez, 2009).

Ambas investigaciones tienen miras a cumplir con una de las funciones de la Teoría Socioepistemológica que señala Cordero (2013), hacer un rediseño del dME, en el cual el núcleo principal sea una matemática funcional basada en el uso del conocimiento matemático para crear un vínculo entre la matemática escolar y la matemática cotidiana.

En ambos trabajos las gráficas se usaron en forma de argumentos para justificar procedimientos, es decir, según la forma y las cualidades de la gráfica se dio luz del camino que se tuvo que seguir para poder interpretar y usar la gráfica. Esto bajo la idea de Parra (2008), quien dio evidencia de que con el uso de las gráficas se construyen significados como la expresión misma de la generación de conocimiento.

Es de resaltarse que la principal aportación que hacen estos trabajos a la investigación que se realiza sobre los procesos de transferencia de conocimientos que buscan encarar estas dos investigaciones, es solo una aproximación a una problemática fundamental de la matemática educativa: la confrontación entre la obra matemática y la matemática escolar que busca que la matemática sea un saber funcional.

Así, con la evidencia empírica mostrada, hemos confirmado nuestra hipótesis de partida de naturaleza socioepistemológica: es en el uso del conocimiento situado, de donde surgen los significados asociados al saber de referencia.

Referencias

- Ayres, G. (1970). *Análisis químico cuantitativo*. Distrito Federal, México: Harla.
- Cantoral, R. (2011). *Fundamentos y Métodos de la Socioepistemología*. Simposio en Matemática Educativa, 22-26 agosto, México: CICATA del IPN.
- Cantoral, R. (2013). *Teoría Socioepistemológica de la Matemática Educativa. Estudios sobre construcción social del conocimiento*. Barcelona, España: Gedisa.
- Cantoral, R. & Farfán, R. (2003a). Mathematics Education: A visión of its evolution. *Educational studies in mathematics*, 53(3), 255-270.
- Cantoral, R. & Farfán, R. (2003b). Matemática Educativa: una visión de su evolución. *Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa*, 6(1), 27-40.
- Cantoral, R. & Farfán, R. (2004). *Desarrollo conceptual del cálculo*. Distrito Federal, México: Thomson.
- Cantoral, R. & Montiel, G. (2001). *Funciones: visualización y pensamiento matemático*. Distrito Federal, México: Prentice Hall.
- Castañeda A., Gonzáles, R. y Molina, J. (2013). Secuencia didáctica para el estudio de las funciones a través de la graficación. En G. Buendía, M. Ferrari & G. Martínez (Coord.), *Resignificación de funciones para profesores de Matemáticas* (pp. 13-32). Distrito Federal, México: Ediciones Díaz de Santos.
- Cordero, F. (2001). La distinción entre construcciones del cálculo. Una epistemología a través de la actividad humana. *Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa*, 4(2), 103-128.
- Cordero, F. (2003). Lo social en el conocimiento matemático: los argumentos y la reconstrucción de significados. En J. Delgado (Ed.), *Acta Latinoamericana de Matemática Educativa 16* (pp. 73-78).

- Cordero, F. (2005). La Socioepistemología en la graficación del discurso matemático escolar. En J. Lezama, M. Sánchez & J. Molina (Ed), *Acta Latinoamericana de Matemática Educativa 18* (pp. 477-482)
- Cordero, F. (2006). La modellazione e la rappresentazione grafica nell'insegnamento apprendimento della matemática. *La matemática e la sua Didattica*, 20(1), 59-79.
- Cordero, F. (2008). El uso de las gráficas en el discurso del cálculo escolar. Una visión socioepistemológica. En R. Cantoral, O. Covián, R. Farfán, J. Lezama y A. Romo (Eds.), *Investigaciones sobre enseñanza y aprendizaje de las matemáticas: Un reporte Iberoamericano* (pp. 265-286). Distrito Federal, México: Comité Latinoamericano de Matemática Educativa A. C. –Díaz de Santos.
- Cordero, F. (2013). Matemáticas y el Cotidiano. *Diplomado Desarrollo de estrategias de aprendizaje para las matemáticas del bachillerato: la transversalidad curricular de las matemáticas Módulo III*. Documento interno. Cinvestav –IPN.
- Cordero, F., Cen, C. & Suárez, L. (2010). Los funcionamientos y formas de las gráficas en los libros de texto: una práctica institucional en el bachillerato. *Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa*, 13(2), 187-214.
- Cordero, F. & Flores, R. (2007). El uso de las gráficas en el discurso matemático escolar. Un estudio socioepistemológico en el nivel básico a través de los libros de texto. *Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa*, 10(1), 7-38.
- Córdoba, F. (2011). *La modelación en matemática educativa: una práctica para el trabajo en el aula de ingeniería* (Tesis de maestría inédita). Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del Instituto Politécnico Nacional, Distrito Federal, México.
- Covian, O. (2006). Estudio de la construcción social del conocimiento matemático en el ejercicio de prácticas profesionales. Una visión socioepistemológica. En *Resúmenes de la X Escuela de Invierno en Matemática Educativa*. Red de Cimates: La Trinidad, Tlaxcala, México, 33-34.

- Dolores, C. & Cuevas, I. (2007). Lectura e interpretación de gráficas socialmente compartidas. *Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa*, 10(1), 69-96.
- Duval, R. (1988). Registros de representación semiótica y funcionamiento cognitivo del pensamiento. En F. Hitt (Ed.), *Investigación en Matemática Educativa II* (pp. 173-201). D.F., México: Grupo Editorial Iberoamérica.
- Dubinsky, E. & Harel, D. (1992). The Nature of the Process Conception of Function. In E. Dubinsky & G. Harel (Eds.), *The Concept of Function: Aspects of Epistemology and Pedagogy* (pp. 85-106). Washington, DC: Mathematical Association of America.
- Flores, R. (2005). *El uso de las gráficas en el discurso matemático escolar. Un estudio socioepistemológico en el nivel básico a través de libros de texto* (Tesis de maestría inédita). Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Distrito Federal, México.
- Galicia, A., Rosas, L., García, C. & Arrieta, J. (2011). *La espectrofotometría como práctica social de modelación del ingeniero bioquímico*. Comunicación presentada en el XIII Congreso Internacional de Investigación y Desarrollo Educativo en Educación Superior Tecnológica, Santiago de Querétaro, Querétaro.
- García-Torres, E. (2008). *Un estudio sobre los procesos de institucionalización de las prácticas en ingeniería biomédica. Una visión socioepistemológica* (Tesis de maestría inédita). Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Distrito Federal, México.
- Gómez, K. (2009). *Los procesos de difusión del conocimiento matemático en el cotidiano. Un estudio socioepistemológico* (Tesis de maestría inédita). Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Distrito Federal, México.
- Gómez, K. (2013). *La Socialización de la Función del Conocimiento Matemático: Pluralidad Epistemológica y Opacidad del Cotidiano* (Documento Predoctoral). Departamento de Matemática Educativa, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Distrito Federal, México.

- Harris, D. (1992). *Análisis químico cuantitativo*. Distrito Federal, México: Grupo editorial Iberoamérica.
- Hughes, H. K. (1952). Suggested Nomenclature in Applied Spectroscopy. *Analytical chemistry*, 24(8), 1349-1354.
- IUPAC. *Compendium of Chemical Terminology*, 2nd ed. (the "Gold Book"). Compiled by A. D. McNaught and A. Wilkinson. Blackwell Scientific Publications, Oxford (1997).
- Kenner C. & Busch K. (1979). *Quantitative Analysis*. New York, USA: Macmillan Publishing Co.
- Lacasta, E. & Pascual, J. (1998). *Las funciones en los planos cartesianos*. Madrid, España: Síntesis.
- Lara, G. (2007). *Categorías de uso de gráficas en libros de texto de Mecánica de Fluidos* (Tesis de maestría inédita). Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Distrito Federal, México.
- López-Ballesteros, G. (2009). *Un estudio socioepistemológico del conocimiento matemático presente en la práctica profesional de Investigación de Mercados* (Tesis de maestría inédita). Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Distrito Federal, México.
- López, S. (2012). *La matemática del ciudadano* (Tesis de maestría inédita). Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Distrito Federal, México.
- Marczenko, Z. (1976). *Spectrophotometric determination of elements*. EUA: Ellis Horwood Limited Chichester
- Marín, E. (2014). *El uso de las gráficas en una comunidad de conocimiento matemático de economistas: el caso de la microeconomía aplicada* (Tesis de maestría inédita). Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Distrito Federal, México.

- Martínez, P. C. (2006). El método de estudio de caso. Estrategia metodológica de la investigación científica. *Pensamiento y gestión*, 20, 165-193.
- Mendoza, E. (2013). *Matemática funcional en una comunidad de conocimiento: el caso de las ecuaciones diferenciales lineales en la ingeniería* (Tesis de maestría inédita). Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Distrito Federal, México.
- Neri, M. (2012). *La resignificación del uso de las gráficas: El caso de las funciones lineales* (Tesis de maestría inédita). Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del Instituto Politécnico Nacional, Distrito Federal, México.
- Parra, T. (2008). *El uso de las gráficas en la ingeniería. Una resignificación de la derivada* (Tesis de maestría inédita). Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Distrito Federal, México.
- Quintero-Rendón, L. A. (2011). *Evaluación del tratamiento biológico para la remoción del color índigo del agua residual industrial textil, por un consorcio microbiano, en lecho fluidizado* (Tesis de maestría inédita). Universidad Nacional de Colombia, Facultad Nacional de Minas, Medellín, Colombia.
- Ramos, S. (2010). *La predicción y modelación matemática como herramienta para replantear la formación de economistas*. México: Universidad Autónoma de Chiapas.
- Reyes-Gasperini, D. (2011). *Empoderamiento docente desde una visión Socioepistemológica: Estudio de los factores de cambio en las prácticas del profesor de matemáticas* (Tesis de maestría inédita). Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Distrito Federal, México.
- Rodríguez, M. (2009). *Una matemática funcional para el ingeniero. La serie trigonométrica de Fourier* (Tesis de maestría inédita). Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Distrito Federal, México.
- Rojas-Soriano, R. (2013). *Guía para realizar investigaciones sociales*. Distrito Federal, México: Plaza y Valdés.

- Santos, Z. (2013). *El uso de las gráficas para resignificar elementos de la funcionalidad trigonométrica* (Tesis de maestría inédita). Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del Instituto Politécnico Nacional, Distrito Federal, México.
- Torres, A. (2004). *La modelación y las gráficas en situaciones de movimiento con tecnología* (Tesis de maestría inédita). Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del Instituto Politécnico Nacional, Distrito Federal, México.
- Torres, L. (2013). *Usos del conocimiento matemático. La simultaneidad y estabilidad en una comunidad de conocimiento de la ingeniería química en un escenario de trabajo* (Tesis de maestría inédita). Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Distrito Federal, México.
- Tuyub, I. (2008). *Un estudio socioepistemológico de la práctica toxicológica: un modelo de la construcción social del conocimiento* (Tesis de maestría inédita). Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Distrito Federal, México.
- Valenciaga, D., De Oliveira, E., La O, O., Chongo, B., Oramas, A. & Cairo, J. (2007). Obtención de curvas de calibración para la determinación de la composición química de la especie *Pennisetum purpureum* mediante de Espectroscopia de Reflectancia en el Infrarrojo Cercano (NIRS). *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 41(2), 165-168.
- Vázquez, E. (2011) *Funcionalidad de la estabilidad en la Biología. Un estudio socioepistemológico* (Tesis de maestría inédita). Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Distrito Federal, México.

ANEXOS



No debe haber barreras para la libertad de preguntar. No hay sitio para el dogma en la ciencia. El científico es libre y debe ser libre para hacer cualquier pregunta, para dudar de cualquier aseveración, para buscar cualquier evidencia, para corregir cualquier error.

JULIUS ROBERT OPPENHEIMER

(1904-1967)

Anexo 1. Entrevistas

Como ya se mencionó anteriormente, se les aplicó una entrevista a diversos profesionistas que tienen experiencia laboral en el área de análisis químico, en especial con el uso de espectrofotómetros e interpretación de curvas de calibración. En la presente tesis se reportaron, analizaron y discutieron dos de las siete entrevistas que se hicieron.

Antes de iniciar las entrevistas se les explicó a los profesionistas en qué consistirían y la forma en la que se realizarían. Esta parte no se grabó ya que únicamente se realizó poder llevar a cabo la entrevista en la forma planeada. Algo que sí se grabó con audio y vídeo, fueron las respuestas que daban ante las preguntas que se les hicieron con base en la guía de la entrevista.

Posteriormente se les pidió que nos hablaran sobre su formación académica y su experiencia profesional, esta segunda parte también se grabó y se reportó un resumen de esto en el capítulo cuatro del presente reporte.

Aquí mostramos de manera completa todo lo que se dijo en la entrevista. Iniciaremos con la entrevista que se realizó al ingeniero Ángel y posteriormente la que se le realizó al químico Humberto.

Entrevista con Ángel

Denotaremos al químico Ángel con la letra *A* y con una *E* al investigador.

E1: Me puedes mencionar ehh... los elementos que observes en esta gráfica (señalándola), o sea como qué hay en el eje de las *equis*, qué hay en el eje de las *yes* y alguna breve explicación, si puedes, de lo que veas en el título y demás.

A1: Ujú. Ella lo que midió fue esto, ¿no?, lo que es la demanda química de oxígeno, supongo a través de algún método colorimétrico y obtuvo estas lecturas de absorbancia que ella compara con, lo que, supongo algún colorante. Lo que ella, este, de alguna manera, con algún reactivo obtuvo esto de DQO, Demanda Química de Oxígeno. Ahora sí, en el eje de las *equis* ella ubicó la concentración de la Demanda Química de Oxígeno. Para empezar a mí se me hace que eso está raro, o sea, porque es

una demanda, o sea es la cantidad que está requiriendo algo, o sea un proceso y ella lo está poniendo en miligramos por litro que es una unidad de concentración. Emmm porque lo que es la demanda es el requerimiento, es como una especie de flujo, es como una especie de consumo. Es miligramos por litro no es una, este, no es una, no son unidades de consumo. Tendrían que ser unidades de miligramos por hora, miligramos por alguna otra cosa, ¿no? Puede ser miligramos por litro pero por otra cosa, pero bueno.

E2: No únicamente como unidades de concentración como ella lo pone.

A2: ¡Exactamente! En el eje de las y es pues está la absorbancia. Parece que está, así como lo haya medido ella, alguna razón debe de tener para que lo haya puesto así en estas unidades. Esto... No conozco muy bien este tema, pero... Digo, sé de curvas de calibración. Este, parece que la gráfica está bien, parecería. Aunque en los últimos dos puntos está un poco raro porque hay que mencionar que no siempre la Ley de Lambert-Beer dependiendo de... o la Ley de Beer, no siempre es lineal en todas las regiones, por eso hay que hacer varias curvas, porque aquí parece que después de punto dos ya no está en la región lineal. Habría que ver otra cosa, ¿no?, habría que ver el siguiente punto, ¿no?

E3: O sea, como inicio tú dices que habría que hacer otro punto para ver qué pasó con esta, ¿no? (Señalando una región sobre la gráfica uno).

A3: Sí, este...

E4: ¿Se te hacen suficientes la cantidad de puntos que ella reporta ahí o crees que sea necesario hacer más?

A4: Habitualmente está bien hacer seis puntos, porque fíjate que la mayoría de las legislaciones, tanto como la de Estados Unidos como la de México, así *análisis de caballito*, *análisis de cajón* o análisis rutinarios, este, recomiendan un punto abajo, uno medio y uno alto. Bien. Pero digamos, una curva de calibración de un experimento escolar parece que está bien.

E5: Escolar. O sea que haces énfasis en que en un escolar está bien, pero ¿qué tal en uno de la industria, sí se podría aceptar?

A5: Si. Si está muy bien.

E6: Cuando ustedes hacían... bueno, en el trabajo que tú tenías, estee, ¿cuántos puntos ponían cuando hacían las curvas?

A6: Fíjate, habitualmente hacíamos también cinco o seis puntos. Aunque las legislaciones piden mínimo tres puntos.

E7: ¿Tres?

A7: Ajá.

E8: Ah, entonces está bien.

A8: Claro, hay que ver otras cosas, digo: la dispersión de los puntos, ver que sean este... ver los estadísticos de esa curva, ver los estadísticos de esos puntos, no solamente la curva y que tenga una bonita recta.

E9: Claro. Umm, Puedes describir brevemente así como ¿qué es la absorbancia, qué es la concentración, digo, como relacionada con lo que está diciendo ahí la tesista?

A9: La concentración pues es una cantidad de algo sobre un volumen. Lo que vas a dispersar de un material, ya sea sólido, líquido o gas en un volumen de otra cosa, por ejemplo puede ser agua. Bueno, a grosso modo líquidos o gases, o sea... entonces la concentración va a ser el cociente, ¿no?, de una masa sobre un volumen, esa es la concentración así a grosso modo.

La absorbancia es una propiedad de la materia que está dada por la capacidad que tiene de absorber una energía a una longitud de onda, que puede ser de radiofrecuencia, puede ser infrarrojo, puede ser ultravioleta. Eh, dependiendo de las características intrínsecas de ese material, eh, va a ser la capacidad que tenga de absorber cierta cantidad de esa radiofrecuencia, de esa luz, de ese rango del espectro electromagnético. Eh, claro, ese es lo que sería como una especie de coeficiente de absorptividad molar, o sea, cada material tiene el suyo. Pero dejando eso de lado, también depende de la concentración. Como tienes un material que absorbe a cierta longitud de onda que sería como por ejemplo en el ultravioleta la λ máxima que es un máximo de absorción a cierta longitud de onda, ehh, la amplitud de ese λ máximo va a estar en función de la concentración. Entonces, habitualmente, para conocer la cantidad de un material en un volumen se utilizan este tipo de curvas de absorbancia contra concentración. O sea, preparas tú una

serie de estándares a concentraciones conocidas, mides las absorbancias y si tienes una muestra problema, que no conoces la concentración, interpolas en la curva.

E10: O sea habría que hacer una ecuación y con esa...

A10: Exactamente.

E11: Umm. Vamos a empezar a ahondar un poquito más sobre esa ecuación, sobre esos puntos... eh, bien. ¿Qué es lo que representan cada uno de los puntitos que están ahí? (Señalándolos).

A11: Representarían la relación entre una concentración que esta chica obtuvo (refiriéndose a la tesista) y una absorbancia, obviamente. O sea, la...

Bueno, para empezar esto es un plano cartesiano, ¿no? Cada coordenada va a representar, por un lado, la cantidad en un cierto volumen y por otro, una... la absorbancia sería... pues algo que uno está midiendo (risas)... la la... ya me perdí un poco.

E12: No, no. Está bien. Tú no te preocupes. Digo, al final el vídeo se recorta, bueno, no se recorta, pero al final solo se analiza y ya. No te preocupes.

A12: Pues eso representaría, ¿no?, la relación entre la concentración y la absorbancia de ese material en una dilución dada.

E13: Ya ya ya, o sea que si lo quisiéramos poner como normalmente lo ponemos, como *equis* coma *ye*, lo pondríamos como concentración coma absorbancia de cada uno de los puntos, es lo que de alguna manera me tratas de decir. ¿No?

A13: Exactamente.

E14: Bueno, ahorita ya me dijiste algo sobre la absorbancia, me dijiste qué significa, hablaste algo sobre el coeficiente de absortividad, este, dijiste que era de alguna manera proporcional a la concentración. Eh, ¿cómo es como se mide esa absorbancia?

A14: La absorbancia, ¿físicamente?

E15: Si. ¿Cómo lo haces cuando mides, este, o sea, en qué se mide, cómo se mide, qué es lo que pasa cuando...?

A15: ¡Ah, claro! Hay varias formas de medirla, ¿no?, o sea, dependiendo de lo que uno quiera ver. Los materiales tienen diferentes máximos de absorción, en diferentes longitudes de onda del espectro. Eh, habitualmente en la industria se usa el ultravioleta o el visible. El ultravioleta pues está desde los trescientos y tantos nanómetros hasta los quinientos nanómetros, y el visible desde los quinientos y tantos nanómetros hasta los setecientos y fracción en nanómetros. Entonces eso, dependiendo del material va a tener un máximo de absorción, un λ máxima. Entonces uno prepara una solución en algo que sea soluble el material en un disolvente que no absorba el ultravioleta, que tenga una absorción mínima al ultravioleta o su máximo de absorción esté lejano a, eso para encontrar el máximo de absorción del material. Lo disuelves, lo pones en una celda, en una cubetita transparente, dependiendo si es de... dependiendo del tipo de aparato que utilices, la celda puede ser o de plástico o de vidrio, o de cuarzo en el caso del infrarrojo. Entonces pues lo metes en un aparato y el aparato hace incidir un haz de la frecuencia de luz a la frecuencia que uno espera y la muestra va a dispersar, va a absorber una parte y va a dispersar otra parte. El aparato tiene un detector que va a medir la cantidad de luz que atraviesa esa muestra, eh, como uno sabe qué cantidad de luz salió de un fotodiodo, un emisor; entonces el receptor va a recibir menos porque la muestra ya absorbió una parte. Este, uno puede obtener ahí la absorbancia directamente. O sea, la absorbancia está dada por la intensidad del haz incidente y la intensidad del haz...

E16: ¿Es como si fuera una resta o...?

A16: Es un coeficiente. Por ejemplo si tuvieras una muestra que absorbe al cien por ciento, pues obtendrías una absorbancia infinita.

E17: Ya, ¿existe eso?

A17: No. Y si tienes muy poca muestra, entonces vas a tener una absorbancia muy baja.

E18: ¿Cómo si tiene muy poca muestra? Ah ya ya ya, si tienes una concentración muy muy baja, se espera eso. Entonces a concentraciones bajas, absorbancias bajas, dices; a concentraciones altas, concentraciones altas.

A18: Así es.

E19: Umm, ¿qué relación tendrían que guardar la absorbancia y la concentración? Por ahí ahorita hablamos algo, hablamos de lineales... ¿tendría que ser siempre lineal?

A19: Desgraciadamente no lo es, fíjate. La relación entre la absorbancia de un material y la luz que le llega, experimentalmente la luz que le haces incidir y la luz que pasa esa muestra no es lineal. Una parte es lineal, pero llega un momento en que... Llega una especie de máximo, una meseta, y ahí se satura.

E20: ¿Qué hace? ¿Se hace asintótico o regresa, o qué tipo de...?

A20: Prácticamente se hace asintótica.

E21: O sea, parecería que a pesar de que aumentes la concentración ya la absorbancia ya no cambia. Y ¿Hay algún valor en el que tú digas ya hasta ahí puede llegar o...?

A21: Eso depende del material, pero habitualmente a concentraciones bajas, a diluciones bajas, funciona muy bien hasta que tengas una absorbancia de menos de uno. De más de uno, ya los valores ya habitualmente se vuelven muy raros.

E22: He notado algunas veces, por ejemplo en algunos espectrofotómetros, que es el equipo este con el que dices que se mide la absorbancia, eh, cuando llega a un valor, por ejemplo, no sé, tres punto dos, después de tres punto dos efectivamente ya no empieza a cambiar, se queda siempre en 3.2 a pesar de que suba la concentración. Bueno, doy este 3.2 como un ejemplo ¿no? Pero ahí, bueno, no sé si sea porque el equipo ya no tenga capacidad de medir o porque efectivamente la absorbancia sea ya nada más esa, o sea, ¿qué pasa ahí realmente?

A22: Ahí realmente es por la saturación de la muestra, o sea, tienes una cantidad de soluto que ya no vas a poder disolver más en un volumen, entonces ya hace cosas raras con la dispersión de la luz, porque una parte va a ser este... la va a dispersar hacia otro lado, no, porque si empiezas a echar mucha mucha muestra, este, no se va a disolver, entonces la cantidad de luz que pasa va a ser la misma, o sea, llega a un punto en el que ya...

E23: Se empieza a precipitar.

A23: Se empieza a precipitar, empieza a reflejar hacia otros lados y ya no es una medición real de la concentración.

E24: Entonces de alguna manera si depende del punto de saturación y depende de que sea concentraciones bajas entonces.

A24: Exacto. Mientras más baja es mejor habitualmente.

E25: No tienes como algún número que... no sé, ¿qué concentración, o sea, tanto molar, punto uno...?

A25: Fíjate, así habitualmente, para que salgan bien las cosas, este, de milimolar fíjate.

E26: ¿A sí?

A26: Sí, para que salgan bien. Pero fíjate, eso lo puedes compensar, si tienes una muestra así de laboratorio o de producción o algo, habitualmente la mandan en un frasco que pesa tantos gramos, ¿no?, y tú puedes hacer una dilución.

E27: Claro.

A27: Y ya puedes dejar en la molaridad de quieras y eso ya lo interpolas en tu gráfica.

E28: Y eso ya lo partes en donde quieras ¿no?

A28: Exactamente, como sabes el factor de dilución. Tú lo puedes calcular.

E29: Si, realmente no es como un problema, no, que tengas este tipo de mediciones.

A29: Si.

E30: Umm, ¿Qué significado...? Bueno, hablamos de que a concentraciones pequeñas sí se comporta como una recta. ¿Qué significado tiene esa pendiente de la recta, o sea, qué es esa pendiente?

A30: (Risas)...

E31: Está un poquito complicada, si quieres hacer algún cálculo o algo recuerda que...

A31: Esa pendiente habitualmente tiene que ver con el coeficiente de absorptividad molar, habitualmente. No recuerdo muy bien la relación...

E32: Si si si ¿Recuerdas cómo era la Ley de Beer, cómo era la fórmula?

A32: No, no recuerdo.

E33: Era algo así, era como absorbancia es igual a un coeficiente de absorptividad y por ahí estaba el parámetro b que era el espesor de la celda y por acá va la concentración.

A33: Si sí.

E34: Entonces sí queda así como dices, si estamos diciendo que esta va a ser como quien dice la *ye* y esto va a ser la *equis* entonces estas dos cosas serían la pendiente ¿no?, hay veces que, como este realmente es constante, realmente sí es lo que dices, o sea, la pendiente sí efectivamente es ese coeficiente. Si estaba bien, era nada más como para apoyar a tu argumento.

A34: Ah, muchas gracias.

E35: Sí sí, sí era así. Y te digo, como la *b* no cambia entonces es una constante.

A35: Ambas son constantes, al menos que cambies el espesor de la celda a diario.

(Risas).

E36: Esta depende propiamente del material y esta es algo que el equipo ya tiene, ¿no?, o sea que ya tienes que tener como *de cajón* y sabes que va a ser tanto.

A36: Si, no debe de cambiar tanto. (Risas).

E37: Exactamente, este... Bueno, ya me dijiste en qué casos podría dejar de ser una línea recta, ¿no?, hablas de que se satura cuando son concentraciones grandes, este, pero ¿qué pasa si deja de ser una recta? O sea, por ejemplo, aquí de alguna manera, estamos viendo que esta cosa pareciera que va a empezar a hacerse asintótica acá (señalando), pero ¿qué pasa por ejemplo si alguien toma esta curva así como está y no prevé que eso puede empezar a hacerse asintótico, qué pasa con esas cosas, qué decisión tomas ante eso?

A37: Fíjate, eso es bien común en el ámbito académico.

E38: ¿En el académico?

A38: Ey, de que la gente haga una curva de calibración y de que los puntos le salgan por acá, ¿no?, arriba de la curva de calibración. Yo me he dado cuenta muchas tesis hacen eso y habitualmente yo les pido de que checa eso, de que no te estés saliendo de... de tu curva, de que no estés extrapolando. Eso es en el ámbito académico.

En la industria habitualmente no son válidos esos resultados, extrapolar no se vale.

E39: ah ¿no? ¿Interpolar sí?

A39: Interpolar sí, extrapolar no... Es lo que te digo, estás obteniendo una absorbancia muy alta, ¡ah caray! Lo primero que te preguntan, ¿está bien tu dilución? Y ya lo checas, ¿no? Inicias los cálculos, dices: no pues sí está bien. A ver, dilúyela a la mitad, dilúyela con un factor equis para ver cómo se comporta... y en base a eso ya se toman las decisiones. Porque no se vale extrapolar.

E40: ¿Entonces qué pasaría, por ejemplo, ahí tu que recomendarías si tú prevés que ahí se va a empezar a hacer asintótico? ¿Habría que hacer todas las diluciones entonces o habría nada más que diluir y volverlas a hacer?

A40: Porque fíjate, si yo soy el jefe del analista le diría: pues avientate otro punto ¿no?, de la curva a ver qué onda, total, al final de cuentas, si uno se avienta tres, pues da lo mismo que te avientes cuatro, que te avientes cinco, o sea es un poco más de trabajo, no, pero pues es lo mismo. La teoría de donde la vas diluyendo, no, y conoces la... de un Stock la diluyes. Digo, en el caso de la industria sería eso, ¿no?, avientate otro punto, dilúyelo, busca el factor o tiene un contaminante que está haciendo que absorba de más y hay que hacer otro análisis.

E41: Cuando dices contaminante ¿a qué te refieres, a algo que absorba también en esa longitud de onda?

A41: A algo que pueda absorber, a un adulterante; porque luego los materiales puedan llegar a tener adulterados, de que tengan alguna otra sustancia que absorba cerca, ¿no?, este, por ejemplo, los alcoholes luego vienen contaminados con metanol y ese tipo de cosas, y en el espectrofotómetro los ves igual.

Entonces, este, pues sí, hay que ver que no tenga... hay que auxiliarse de otros métodos analíticos.

E42: Interesante respuesta.

Ya me habías comentado esto del espectrofotómetro, de cómo mide, me habías comentado de esto de la rejilla. Por ahí algo que no mencionas por ejemplo es que hay un monocromador, ¿no? ¿Así se llama, no? El que va a seleccionar...

A42: Fíjate que hay unos que son filtros. El mismo diodo ya emite una longitud de onda, hay arreglos de... También los detectores están... Los monocromadores ya casi no se usan.

E43: Ah ok, es como el principio básico.

A43: Es como el más... Es como el espectrofotómetro más barato, el que tiene un monocromador.
(Risas).

E44: Ah ya, ok. Si porque tenía entendido que era el que seleccionaba la longitud de onda.

A44: Habitualmente se utilizan ya laseres o diodos que ya tienen una longitud de onda específica o depende, no. O como dices tú, puede llegar a tener un prisma y que ese prisma tenga la salida un monocromador o algo así para evitar la dispersión de la frecuencia. Con el prisma puedes llegar a seleccionar la longitud de onda.

E45: Claro.

A45: Si, un monocromador es como un filtro, una especie de rejilla que deja pasar una sola longitud. En aparatos más modernos puedes tú seleccionar la longitud de onda.

E46: Pero ahí, tiene que tener como algo así adentro, ¿quién sabe qué sea, no? Algo que haga que se seleccione.

A46: Sí.

E47: Aumm, ¿a qué se debe que el valor de la absorbancia que da un equipo sea una medida indirecta de la concentración? Bueno, creo que eso ya de alguna manera lo has contestado, ¿no? A lo largo de esta entrevista.

(Risas)

Existe otro parámetro que se llama transmitancia.

A47: Ah, claro.

E48: Este, ¿cómo se relaciona ese con la absorbancia?

A48: También varía fíjate, depende del experimento que estés haciendo, precisamente. Habitualmente el infrarrojo se mide más en transmitancia. Eh, muchos consideran la transmitancia como el uno sobre absorbancia, pero no siempre se relaciona así, depende del tipo de longitud de onda de experimento. No conozco yo mucho de infrarrojo, pero sí he visto que a veces se llegan a obtener espectros de absorbancia en infrarrojo y los transforman a través de una relación como logarítmica.

E49: Ah, ¿pero no recuerdas esa relación?

A49: No me acuerdo, pero más o menos es algo así, mira. A ver si no la riego eh.

E50: No, está bien. No es examen. (Risas).

A50: Por que fíjate, el por ciento de transmitancia creo que está relacionado con... yo creo que dos por el menos logaritmo de la absorbancia o algo así, fíjate. No me acuerdo muy bien la...

E51: Me parece que... Bueno, por ejemplo, la transmitancia es el cociente de lo que sale entre lo que entra. Y sí, me parece que es algo así como el... la transmitancia es el menos logaritmo de la absorbancia. Al revés. Algo así.

A51: La relación no es tan directa como uno esperaría.

E52: Es al revés más bien. Ah sí, aquí la tengo. La absorbancia es el menos logaritmo base diez de la transmitancia. Entonces sí. Esta es la relación que existe, ¿no? Pero tú ahorita nombrabas otra, que algunos lo toman como...

A52: Es que no sé a qué se deba, digo, algunos lo toman como el inverso. Como uno sobre...

E53: Como uno sobre el que sea.

A53: Ajá, uno sobre transmitancia para que te dé la absorbancia o viceversa, o sea no estoy muy seguro de esa relación.

E54: No no no pasa nada... ¿Qué valor tendría que tomar la... bueno, basado en todo esto que me dices, qué valor tendría que tomar la absorbancia cuando la concentración es cero entonces?

A54: (Risas). Teóricamente tendría que ser cero, pero viendo todo esto, pues se indetermina. No es determinable.

E55: Yo no he visto, por ejemplo, que pongan al inicio un cero coma cero como de default, aunque debería ¿no? Y por ejemplo si yo no lo pongo y hago la regresión lineal, este, me da una cosa diferente.

A55: Quien sabe dónde te salga la ordenada al origen.

E56: Así es. Este, ¿no es necesario que lo ponga o sí es?

A56: Fíjate, habitualmente cuando uno hace los experimentos uno utiliza un blanco y el blanco teóricamente es el cero y lo que obtengas en tu recta, tiene que ya venir como dicen por ahí *blanqueado*, pero no es así porque la misma celda también llega a tener un poco de absorbancia.

E57: Pero no se supone que por ejemplo, en la misma... o sea ¿Cómo digo?... A ver, el que se toma como cero, no recuerdo bien cómo, a ver, por ejemplo, si pones el blanco. Bueno, supongamos que no tenemos nada, pasa y entonces ya tenemos una intensidad, bueno una potencia de corriente, entonces, si ponemos el blanco, este, me parece que toma como cero este que está saliendo, no el que entra justamente para eliminar esa... por eso digo, entonces por qué no se pone entonces el cero coma cero si de ahí, en ese momento cuando se pone el blanco, entonces se mide y eso podría causar de alguna manera efectos en la ecuación de la curva, pero yo no he visto que se ponga. No sé si desde tu punto de vista se tiene que poner, en la industria lo ponías o no lo ponías.

A57: Fíjate que realmente no, en la industria no se ponía. Lo que se ponía era una concentración. Pero fíjate, ahora que lo mencionas el aparato que utilizábamos ahí tenía dos celdas de modo que en una ponías únicamente el solvente y en la otra ponías la muestra. Supongo que eso es para que se aproxime más al cero la ordenada al origen.

E58: Claro.

A58: Para sacar la ordenada al origen, supongo.

E59: O sea, como que te evita estar haciendo la resta cada vez. Si es que luego hay unos equipos en donde tienes que estar poniendo el blanco y quitando. Y eso de alguna manera, poner los dos, pues es más o menos el principio como el que tiene el colorímetro, ¿no?, donde están como comparando ahí.

A59: Si, pero ahora que mencionas no, eh. Rara vez he visto a alguien que ponga cero coma cero.

E60: Sí, yo tampoco lo he visto. Pero bueno, no veo porque no, si al final va a estar blanqueando, va estar poniendo el blanco pues, no sé si se diga blanqueando. Creo que no.

(Risas).

Pero bueno, si habría que indagar un poco más, ¿no?, sobre por qué no se acostumbra a ponerlo porque si te daría otra curva diferente. Pero bueno, cambia un poquitito ¿no?

A60: Si porque uno esperaría no, como dices tú, que a una concentración de cero hubiera una absorbancia de cero.

E61: Claro.

A61: Si fuera lineal la relación.

E62: Así es. Tendría que... Eh, ¿qué información puedes deducir de esa gráfica, qué información te da? Una o varias cosas, o lo que veas ahí.

A62: Hacemos un tracito imaginario.

E63: Puedes trazar ahí o lo que quieras, si quieres puedes rayar ahí eh, con confianza, de todos modos, este, tengo muchos dibujitos iguales.

A63: Mi impresión es que está más o menos bien hecha, hay algo que, que me intriga. Que habitualmente he visto que en la... a nivel académico hacen los puntos a veces una sola vez y habitualmente en la industria son por triplicado.

E64: ¿Haces tres tablitas como esta o...?

A64: Algo parecido, puede ser tres tablas o puede ser una tabla con, este, con los tres resultados y ¿sabes qué?, que a veces se utiliza la desviación estándar.

Digamos, esa era una guía que tenía el jefe de los analistas para ver qué tan bien habían trabajado los analistas. Por ejemplo haríamos algo así. Dices ¿qué pasó ahí? Este punto está muy mal. O quizá este (señalando) ¿no?, porque este tiene sus errores o desviaciones estándar más chiquitos o aquí estaría pasando algo raro.

Yo lo que me he fijado que actualmente en la academia se hace con una sola, pero en la industria sí, es por triplicado.

E65: ¿En la misma gráfica los ponen los tres o...?

A65: Sí. Se pueden poner los tres puntitos o un solo punto y sus barras de error, depende. Por ejemplo, una compañera, una amiga que trabaja en el seguro, ella pone los tres puntitos, pero a nosotros nos decían: nada más pónganles sus barras de error.

E66: Ya depende del lugar.

A66: Ya depende. Pero es para ver qué tan precisa es tu curva.

E67: Pero al final, si dices que tienes tres mediciones, ¿cómo eliges cuál de las tres curvas tomar?

A67: Sería... Porque lo que representa es el promedio de las tres mediciones y si está mal, se va a notar en la dispersión de los puntos, o sea, qué tan separados están. Si tienes un valor de concentración dado y muchas absorbancias muy diferentes, dices: ay, hay algo raro.

E68: Claro.

Esta pregunta ya me la contestaste, te decía que con esta gráfica ¿es posible conocer una concentración que no esté en el rango graficado? Tú dices que eso es como peligroso.

A68: Sí, es como intentar adivinar si Alemania va a ganar ahorita.

(Risas)

Es complicado. Porque uno tiene información de lo que ya pasó, o sea, de lo que está en un rango que se llama temporal o en este caso en un rango de concentración, pero lo está afuera de ese rango, a veces hay que tomarlo con mucha cautela.

E69: Hay incertidumbre total de lo que pueda pasar ahí.

A69: Exactamente.

E70: Porque sí quiero hacer mucho énfasis entre lo académico y lo laboral, ¿no?, efectivamente yo también he notado que algunas veces, uno mismo lo hace, ¿no?, no pones tu grafiquita y dices, bueno, si aquí me dio tanto, nada más lo extrapolo y entonces va a ser tanto la concentración y no cuida eso que dijiste ¿no?, que hay que diluirlo mejor para que la concentración quede adentro de la gráfica que tú estás... pero ahora sí que corremos el riesgo que no, bueno, en lo escolar sobre todo en donde tengo un poco más de experiencia yo y tú en la industria también, este, sí lo hacemos, de extrapolar y como si nada, dices, está bonita la recta hay que seguir, ¿no?.

A70: Tiene... da un palito perfecto. Pero es que en la industria hay otras cuestiones, ¿no?, tanto, pues de seguridad y de regulaciones, ¿no?, o sea, no puedes estar... o sea, no puedes darte un margen de inseguridad. Porque, por ejemplo, nosotros hacíamos farmoquímicos, no, que de todas maneras les iban a medir la concentración en otros países. Pero en otras industrias, por ejemplo en las industrias de los ansiolíticos y de ese tipo de cosas, donde las concentraciones son muy

pequeñas, las dosis son muy pequeñas, deben de tener sus curvas de calibración muy muy bonitas, muy al *dedillo*, como dicen, para estar muy seguro de la concentración que tiene cada tableta, porque no solamente es la concentración, sino la vida de alguien, ¿no? Pudieras noquear a alguien si tienes una concentración mal medida, una concentración extrapolada.

E71: No lo había visto desde ahí, tienes razón. Igual y en la escuela no pasa nada, ¿no?, te equivocas y...

A71: Pues sí, de todos modos alguien más lo va a repetir.

E72: Pues sí, no pasa de que el maestro te ponga seis y ya, por haber extrapolado mal o por extrapolar cuando no debía, ¿no? Sí tienes razón, acá sí se corren riesgos muy grandes, ¿no? En ese caso, dices: pues algunas otras personas van a volver a medir la concentración, pero obviamente, si le mandas algo con menos calidad o más diluido, te va a decir qué pasó ¿no?, con tus mediciones.

A72: Sí, en la industria o no te pagan, o te dicen trae de más o trae de menos o está adulterado, cuidado.

E73: No se puede tomar tan a la ligera eso de decir extrapolar.

Este... ¿puedes dibujar una curva que esté ahí, que tú creas que pasará por esos puntos, ahí a ojo de buen cubero? Nada más me interesa como ver eso, cómo la trazas, qué cuidas, qué no cuidas.

A73: Fíjate voy a a a... Suponiendo que es una curva de absorbancia concentración que es, que sea el rango de linealidad. Voy a procurar una...

E74: ¿Tú estás suponiendo que es lineal ya?

A74: Bueno, vamos a suponer que es lineal porque habitualmente pues la absorbancia y la concentración, habitualmente es lineal. Entonces lo que voy a intentar hacer va a ser hacer una gráfica en donde la distancia entre la recta y los puntos sea la mínima... Más o menos algo así.

Deja agarro otra hojita para que quede más o menos recta. (Risas).

Es como una especie de mínimos cuadrados a mano.

E75: Si si si si.

A75: Ahh, ya me fui chueco, pero bueno.

E76: No pasa nada.

A76: No es para vender.

E77: No. (Risas).

A77: Más o menos algo así.

E78: O sea, dices que lo que trataste es de que la distancia para acá, sea igual a la distancia que hay hacia acá.

A78: Más bien de que la distancia sea la menor entre todos los puntos y la recta.

E79: Había escuchado por ejemplo que la suma de todas estas distancias tiene que ser iguala la suma de todas estas distancias que están acá para asegurar que la curva quede en medio, ¿no?

A79: Exactamente.

Habitualmente, es lo que se conoce como mínimos cuadrados. La distancia de aquí a acá, la distancia de aquí a acá... Entonces esto, dependiendo de hacia dónde está lo elevas al cuadrado y dependiendo de hacia dónde está vas a poner el signo, y como dices tú es una suma.

E80: Ah, entonces por eso lo de elevar a los cuadrados, porque si no lo elevaras pues fuera negativo.

A80: Exactamente. (Risas).

O sea, mientras más pequeñas sean esas diferencias, mejor ajuste va a tener la recta a esos puntos.

E81: Claro, uhm, consideras, tú desde tu punto de vista, si te la entregan a ti como sinodal de la tesista. ¿Consideras que es una buena gráfica o no?

A81: Si es medio malona eh, te voy a ser sincero. Sí, porque ella está midiendo una, bueno, no soy experto en este tema.

E82: O sea, no eres experto en lo del DQO, ¿no?

A82: Exactamente.

E83: Sí en la interpretación de la gráfica.

A83: Así es. Sí es medio malona porque si está midiendo una demanda en miligramos por mililitro, entonces es como ahí, como que algo me parece raro. Luego estos dos puntos. Los dos puntos que están al final me parecen un poco raros.

E84: ¿O sea, que si no los tuvieras tú serías feliz?

(Risas).

A84: También dependiendo hasta dónde está midiendo eh.

E85: ¿Y si quito este (señalando un punto)? Porque mira, por ejemplo si quitamos este, o sea, supongamos que este no estuviera ahí, pareciera que mira...

A85: Quedaría línea perfecta, bien bonita.

E86: ¿Si verdad? Pero, ¿qué pudo haber pasado con ese punto? Lo midió mal, este, se equivocó ahí...

A86: Ahí habría que ver la dispersión, si lo hizo una sola vez, si lo hizo varias veces. Si lo hizo varias veces habría que ver cuál es el comportamiento de este punto, ¿no?, porque si lo haces al menos tres veces puede que tengas un punto acá, otro punto acá, otro punto acá... Pero si este, empieza a tener un punto acá, dices: ah está bien hecha. Entonces a lo mejor ésta ya no es la parte lineal, ¿no?, de la... de este compuesto, ¿no? Pero también por otro lado, si tienes este punto...

Me las voy a acabar eh. (Refiriéndose a las puntas del lápiz).

E87: No, no te preocupes.

A87: Ya a esto no le hagamos caso. Pero por ejemplo, si tienes un punto acá y un punto hasta acá, por ejemplo, y el otro acá. Dice uno, ¡ah caray! Entonces está mal medida, por eso... Esto es un criterio de desempate. Digo, habitualmente yo recomiendo que se hagan tres veces dentro del mismo experimento, o sea...

E88: Sí, sí entiendo perfectamente.

A88: Entonces por ejemplo, no sé, este DQO, hagas una dilución, del mismo frasco lo tienes que tomar. Lo pesas y haces otra dilución del mismo frasco pesas y haces las diluciones... así haces lo mismo tres veces. O sea, porque si haces una dilución y mides tres veces, pues vas a obtener lo mismo.

E89: Claro.

A89: Vas a obtener la precisión, mas no la repetibilidad.

E90: O sea, las diluciones se tienen que hacer por triplicado y por separado, por lo tanto también las mediciones. Es que estaba pensando al inicio que las mediciones nada más, pero no, estás diciendo que también...

A90: No, todo todo... la parte experimental.

E91: Y en la misma gráfica. Si me parece bien y fíjate que esto no lo había escuchado nunca, esto que dices, que qué pasaría si estos andan por acá de repente, pues dices: no pues es que ya perdió la linealidad, ¿no?

A91: Digo, eso es una opción.

E92: Claro. ¿Y si a lo mejor suponemos que los otros puntos le dan por acá y por acá, puede ser más bien que a lo mejor lo había medido mal?

A92: Exactamente.

E93: Ahh...

A93: Digo, son de los criterios que tienen que tener en cuenta, ¿no?, para ver si está bien hecha una curva o no, antes de tomar una decisión. (Risas).

E94: Si. Antes de reportar una tesis, ¿no? Te digo, esta fue un trabajo de tesis, un reporte en una tesis de maestría de una universidad colombiana.

Quando estuve buscando las curvas de calibración, realmente todas me daban bonitas. Empecé a buscar tesis...

A94: No te ibas a quedar con la fea. (Risas).

E95: Ajá. No, yo lo que quería era una que efectivamente creara ese conflicto. De ver si está bien, está mal y fue cuando me topé con esta y dije: ay, esta es la que quiero. Por eso es que seleccioné esta tesis colombiana ahí toda rara. Sí, pero justo para eso, para empezar a problematizar ahí justamente en qué es lo que estaba pasando con ese punto, ¿no?, bueno, o estos dos puntos, porque te digo que este (señalando un punto) si causa de plano así mucho ruido y ahorita en la

siguiente gráfica vas a notar algo que que... bueno, lo hago con toda intención, ahorita vas a ver... Este...

Mira, esta es la que te decía. En esta, yo quité ese punto, y mi pregunta es ¿yo puedo quitarlo? Supongamos que ya lo hice y de alguna manera me hago como tonto y no reporto...

A95: Ay se me perdió, ¡nooo!

E96: ¿No se podría hacer eso? Con los fines de ajustar mejor la curva, porque esa ya debe de ir más bonita, ¿no?

A96: No, no no, no se vale. O sea, la curva sí mejora, pero quitar el punto porque simplemente no se ve bien, no, no se vale. Hay que ver por qué no sale bien ese punto, no solo que no salga. El criterio no es que de un palito, ¿no?, no es que de una línea recta. El criterio es ver qué es lo que pasa, o sea, no, es extraerle más información a la línea recta.

E97: Sí, porque luego en lo académico suele hacerse, ¿no?, es decir, estadísticamente, si un punto no está... de hecho hasta estadísticamente.

A97: El criterio de Chauvenet, ¿no?

E98: Claro.

A98: Si tienes cinco y uno no te cuadra, déjalo en cuatro. (Risas).

E99: Ah, y entonces tú dices: no esto aquí ya no.

A99: No. ¿Qué pasó?

(Risas).

E100: Sí, porque estadísticamente, digo, es factible, ¿no?, pero ya dices tú, para cosas reales, no. Mejor vamos a volverlo a hacer, hacemos los tres puntitos como tú recomiendas.

A100: O solo hacemos el punto que hace falta y ya...

Esa es la salida fácil. (Risas).

Pero no es la mejor.

E101: Ya y nadie supo que ese no lo tomaste, ¿no? (Risas).

Hace rato hablaste de regresiones lineales, hablaste del método de mínimos cuadrados, ¿para qué decías que servía eso?

A101: Es para ajustar una recta, que tenga la menor distancia... bueno que una a los puntos con la menor distancia posible. O sea, no unir los puntos directamente, como está aquí (señalando la gráfica dos). Es decir, no unir los trazos entre punto y punto, sino que tengas una línea que la distancia entre el punto y la línea de... la distancia entre el punto y la línea de cada punto sea la menor.

E102: ¿Y a eso ya le sacas la ecuación entonces?

A102: Con eso ya puedes generar una ecuación.

E103: Únicamente para interpolar dices tú, para extrapolar sería muy peligroso.

Mira, regreso a la misma gráfica que te había mostrado al inicio y aquí justamente se hace la regresión lineal. Bueno, esta es la ecuación que obedece a esta, a esta curva... y tiene un R^2 de 0.96. Quiero hablar un poquito sobre eso. ¿Cómo se interpreta que esa R^2 valga eso, eso es bueno, si midió bien, no midió bien?

A103: La R^2 hay que interpretarla con mucho cuidado eh, porque al final de cuentas es la suma también de los coeficientes de las *equis* y de las *yes*, ¿no?, porque obtienes una ecuación y esa ecuación, tienes que meter puntos y vas a obtener por un lado la desviación estándar, la varianza, bueno, la varianza es casi lo mismo que la desviación estándar, el coeficiente de determinación y el coeficiente de regresión. El coeficiente de determinación es este, la R^2 , y ese solamente nos va a decir qué tan bien está ajustado tu modelo de mínimos cuadrados a la ecuación que tú generaste. O sea, es la desviación entre la ecuación que tú tienes y los... y en dónde están los puntos. Fíjate, si tienes una R^2 de, de, muy baja, habitualmente representa que, puede que tu modelo no sea lineal, pero hay que tener mucho cuidado cuando tienes una R^2 alta. Hay que verlo así, tanto como gráficamente como ver otros parámetros, no recuerdo cuáles. Porque bien puedes tener una R^2 de uno si tienes por ejemplo, vamos al caso opuesto, si tienes un punto acá, un punto acá, un punto acá, un punto acá... un punto, vamos a hacerlo más grande. Un punto acá, un punto acá y un punto acá (Poniendo varios puntos sobre una gráfica dibujada por él mismo). ¿Qué dices? Este va a anular

a este y aun así puedes tener una R^2 de uno. Tú ves que está perfecta la recta, pero ves la gráfica y pues no, eso es un artificio matemático al final de cuentas.

E104: Por eso dices que hay que ver la gráfica.

A104: Hay que ver la gráfica. (Risas).

E105: La verdad nunca había mirado eso eh, yo me casaba con el discurso de que si te da R^2 igual a uno o lo más cercana a uno, si es .98 tu curva es buena, todo mundo te dice eso de repente, no. Arriba de .98 tienes una curva nueva, una curva buena, perdón. Y si es uno pues ya no, se fue pero súper lineal, pero si es cierto, ¿qué pasa en un caso como ese?

A105: Exacto. Hay que tener cuidado con eso, hay que ver la gráfica.

E106: Por eso hay que agarrar como con pincitas a ese R^2 .

A106: Digo, al fin de cuentas solo es un indicador de qué tan bueno es tu ajuste de tu ecuación con los puntos experimentales.

E107: Más no de qué tan buena es la curva. Porque luego a veces, porque yo mismo decía, ¿para qué es R^2 ?, para ver qué tan buena es la curva.

A107: No, es para ver qué tan bueno es el ajuste de tu recta, de tu modelo o de lo que tú estés midiendo o comparando, con lo experimental. Hay que tener cuidado con esas cosas. (Risas).

E108: ¿Qué pasaría si, por ejemplo, yo hago un modelo que no sea necesariamente una línea recta, yo puedo tomar ese modelo como algo para poder interpolar?

A108: Pues ajuntando a otro tipo de ecuación podría ser.

E109: No sé, por ejemplo si me diera... no sé, se me ocurre ahora... este, por acá concentración y acá absorbancia y que me diera algo así, unos puntos así... y que me diera así más o menos, ¿no? (realizando la gráfica en papel), o sea, yo podría decir: ah voy a medir la... ya para tomar las lecturas, un valor por acá y ¿sí lo tomarías como válido o necesariamente, únicamente tomarías los valores como válidos cuando están en el segmento en donde es nada más una recta?

A109: Bueno, fíjate, en otras cuestiones ya, fuera de lo que son absorbancias, habitualmente las curvas son así, este, entonces lo que se hace es buscar alguna forma de linealizarlo. Por ejemplo, así

como tienes esta curva, puedes sacarle logaritmo y puede que te dé una línea recta de logaritmo. O sea, lo más sencillo es obtener una línea recta, entonces puedes ajustar a un modelo, de varias formas, ¿no?, o elevándolo a un exponente. Porque habitualmente muchas otras cuestiones, por ejemplo isotermas y esas cuestiones son de esta forma y ves que muchas veces se ajustan de otras formas, ¿no?, uno sobre el logaritmo o la suma de dos logaritmos...

E110: Pero si lo hago así, o sea, no dejan de ser los datos como... o sea, pero si se valdría así, si tuvieras confianza, independientemente si le saqué logaritmo; ¿acá en este caso se lo sacaría a la concentración, no? Ajá, para que este se achatara, ¿no?, para linealizarlo. Entonces, este, independientemente si le saco el logaritmo o no, al que sea... el modelo original es este, como quien dice, entonces, si le tomo la lectura acá, no sé en esta absorbancia sería ir a tomar la lectura acá, si no de alguna manera sería lo mismo. ¿No sé si me explico lo que te quiero decir?

A110: Sí.

E111: Mi pregunta es ¿si tuvieras confianza a pesar de que tu modelo al inicio no se está comportando como lineal?

A111: Hay que ver el modelo y no solamente confiarse en la curva, hay que investigar qué es lo que está pasando, o sea, que es lo que, por qué el modelo está tomando este comportamiento no lineal.

E112: ¿Y eso depende de cada especie ya?

A112: Sí, ahora sí que de cada espécimen. O sea, no solo hay que irse a las matemáticas, hay que ver qué es lo que está pasando con el material. Porque sí, o sea, puede que tengas algo que de un principio se comporte así y pues todo mundo se va a empezar a agarrar la cabeza, a rascar las barbas. (Risas). ¡Ah caray, pues no es lineal! Podría ser, puede darse el caso.

E113: Si porque me pongo a pensar, a ver, esto se podría ajustar por ejemplo a una parábola no, entonces si lo ajustamos a una parábola, entonces yo podría esperar que fuera algo así, pero entonces para una concentración ya muy grande, incluso pierdo... corro el riesgo de empezar a tener lecturas de absorbancia iguales a las iniciales, incluso algunas negativas, por ejemplo, no sé, para una concentración de 40, me estoy inventando un número no, a lo mejor y ya cruzó el eje de las equis y ahí digo yo, que miedo, entonces ¿hasta dónde yo digo que sí puedo...?, o sea, que si puedo hacer esto, ¿no? Porque aunque le saque el logaritmo, aquí correría este problema.

A113: Exacto, puede que tengas una especie de concentración crítica en la que se empiece a agregar o se transforme la especie química en otra cosa y no absorba, ¿no? Ahora que lo mencionas. Es una posibilidad.

E114: Y aunque los datos no empiecen a bajar. Yo digo por el modelo, si el modelo mismo hace que se haga una parábola.

A114: O sea, si nos encontramos una parábola con una, una constante muy grandota y que parezca recta.

E115: También podría ser... Ahí hay que agarrarlo con pinzas.

A115: Pero bueno, si tiene un... Ahora sí que... a fin de cuentas para, es lo que hace el cálculo, no. A fin de cuentas si la parábola es muy grande y tiene un centroide muy amplio, este, si o sea, se puede llegar a tomar como recta, ¿no? Al fin de cuentas va a ser como una tangente.

E116: Si, pero en algunos... Estamos de acuerdo en que también habría que decir hasta dónde porque en algún momento va a llegar a la cima...

A116: En algún momento vas a llegar al punto de inflexión.

E117: Y ahí van a salir cosas bien raras, que ya no van a tener incluso ni sentido para lo que estás haciendo, ¿no?

A117: Exactamente. Ya va a ser otra cosa. (Risas).

E118: Van a dar absorbancias negativas... ¿no?

A118: Sí. Digo, por eso hay que hacer las cosas varias veces, ver que el comportamiento siempre sea el mismo.

E119: Si, porque hace rato que mencionabas la Ley de Beer, en ella habla mucho también sobre conservar la linealidad, ¿no?, que dices tú, que a nivel industrial pueden ocurrir cosas distintas, pero hay que tratar de que no, de que...

A119: Claro, hay que buscar la forma de que de recta.

E120: Me queda claro.

Y ya finalmente, en tu trabajo, me podrías repetir ¿para qué usabas las curvas de calibración?

A120: Ah, principalmente era para determinar concentraciones de material, ver que no hubiera contaminantes o que los contaminantes estuvieran al mínimo. O sea, por ejemplo, el acetofenido de algestona... no me acuerdo cual otro que me pasaba, llega a tener un poco de algestón sin esterificar, o sea, la misma humedad del ambiente lo va rompiendo, ¿no?, se hidroliza el acetofenido... entonces determinábamos la cantidad de algestón por medio de una reacción colorimétrica. No recuerdo, es un reactivo el que se le ponía y ya lo metías al espectrofotómetro y entonces el acetato no reacciona o el acetofenido no reacciona, pero el algestón sí, entonces determinábamos la cantidad de algestón experimentalmente y eso era lo que hacíamos. Bueno, uno de los varios. Porque también lo utilizábamos para otras cuestiones, por ejemplo los disolventes también llegan a tener algún contaminante, pero ahí utilizábamos otro tipo de análisis, a través de gases, una cromatografía de gases, la utilizábamos para el área bajo la curva, inyectábamos estándares de diferentes disolventes, obteníamos también una curva de calibración.

E121: ¿También de absorbancia contra...?

A121: Sería más bien de... pues sí, propiamente de... bueno, es una especie de absorbancia.

E122: De eso no conozco mucho, de cromatografía de gases. Llegué a verla nada más en una materia, ¿no?, pero no tan de lleno y esto sí porque también cuando hice mi tesis, sí necesité hacer también valoraciones con curvas de calibración también por eso metí un poquito más de lleno.

Pues gracias ingeniero por su tiempo.

A122: Al contrario.

E123: Gracias, esto nos va a servir de mucho.

A123: Mucha suerte.

E124: ¡Gracias!

Entrevista con Humberto

Denotaremos al químico Humberto con la letra *H* y con una *E* al investigador.

E1: Bueno, ahí vemos la representación gráfica de los puntos de la DQO, dice ahí, de concentración contra la absorbancia. Me puedes hablar un poco sobre qué es eso de absorbancia, sobre qué es eso de concentración a 600 nm, qué es eso de DQO. Lo que puedas hablar un poquitos sobre eso por favor. De los elementos que en general veas en la gráfica.

H1: Por lo que interpreto, es la demanda química de oxígeno es indispensable para que el funcionamiento de las bacterias en este reactor que va a utilizar. Eso mismo va a ayudar a cuantificar cuál es la capacidad de estas bacterias para poder limpiar el agua que está analizando. Entonces lo que pretende hacer, obviamente como va a tener que tomar controles en proceso para ir cuantificando la cantidad de limpieza del agua, lo que tuvo que hacer primero fue utilizar concentraciones conocidas y colocarlas en la variable independiente, utilizó concentraciones conocidas para observar una respuesta que sería en la variable dependiente, que en este caso sería la absorbancia, que sería la cantidad de luz que se puede absorber, porque en este caso es una muestra colorida. Entonces la diferencia entre colores de estas muestras va a... va a haber una diferencia en la absorbancia de la lectura en el espectrofotómetro. Entonces, los 600 nanómetros (se refería a la notación en e "nm") va a ser una longitud de onda fija en la cual, muy probablemente, el indicador, el color que ella quiere cuantificar, que es el que va a eliminar del agua es la mayor absorbancia, ¿qué quiere decir esto?, es la mayor longitud de onda en nanómetros en la que el compuesto se puede identificar con un espectrofotómetro a través del espectro de luz UV, que es luz ultravioleta. Entonces esto es lo que interpreto de la gráfica.

E2: ¿Cómo le haces para saber cuál es la máxima, o sea, cómo determinar que son 600 nanómetros?

H2: En principio podrías hacer tú un barrido con el mismo espectrofotómetro, eh, vas a hacer un barrido con diferentes... dependiendo el equipo, quizás, a veces es muy viejito... eh, algunos, los actuales pues ya tú pones tu indicador, digamos que va a ser como tu blanco y una concentración conocida, entonces le das a que haga un barrido desde 250 hasta 700 nanómetros, entonces te va a dar una curva para ver cuál es la absorbancia a través del tiempo, entonces en esa curva se va a observar un máximo de absorción y ahí es donde tú identificas cuál es la absorbancia mayor para ese compuesto químico... o existen métodos más tradicionales que los puedes hacer por, eh, por sumatoria de absorbancia de acuerdo al grupo funcional de la molécula, ¿cómo es esto?, tú conoces la estructura química del colorante y alguien por ahí ya se preocupó por hacer cuál es el máximo de

absorbancia para cada grupo funcional de una molécula, entonces tú identificas cada uno de esos grupos funcionales en tu estructura y comienzas a hacer una sumatoria de absorbancia. Se ha podido correlacionar este cálculo teórico con los resultados experimentales y entonces el método ha sido válido. Entonces, es más tradicional, un poquito más laborioso, pero comúnmente esto se hace para compuestos que no conoces, o que apenas estás en descubrimiento, pero en este caso los colorantes y muchos de los fármacos que actualmente se conocen, esto ya se hace automatizado, pero sí hay otros métodos.

E3: Ah, ya ya. Ammm, aquí se muestran varios puntitos, ¿qué quiere decir cada uno de esos puntos, qué es eso?

H3: Si. Aquí lo que estamos observando, en primera instancia, que la absorbancia es directamente proporcional a la concentración, es decir, en cuanto la muestra esté más concentrada, la absorbancia va a ser mayor, o sea, es directamente proporcional y lo que puedo observar en esta gráfica es de que efectivamente hay un punto en el que al ir aumentando la concentración va a alcanzar un máximo, pero como podemos ver, en 400 y 500 miligramos sobre litro de la QDO se mantiene, se vuelve como que, eh, estándar. Es una curva que llega a una asíntota en donde ya no va a haber una variabilidad de absorbancia porque se alcanzó el máximo de la concentración y por lo que veo aquí, ya no hay mucha variación.

E4: ¿A qué te refieres cuando dices que se alcanzó el máximo de concentración, a que se alcanzó a saturar?

H4: A saturar, es una saturación. Entonces por aquí sería interesante hacer, en este caso de la curva de concentración, quizás poner un punto adicional o incluso poner puntos intermedios para ver cómo es la tendencia de estos dos últimos puntos y ver que en realidad se siga manteniendo la absorbancia.

E5: Si, tú dices que aquí es como si fuera esto, ¿no?, como si fuera recta y de repente se hiciera esto, ¿no?, como que empezara a hacer la curva. Pero resalto algo que dices “pero bueno, habría que hacer un punto más para allá, para ver si efectivamente va a pasar a eso”, ¿no?, porque el único que está marcando como esa tendencia es este (señalando un punto), ¿verdad? Porque si lo quitamos, parecería como que ahí sigue ahí todo recto.

H5: Todo recto.

E6: Ah, entonces, tú podrías decir que hay como opciones para este punto: 1. Es posible que yo lo puedo quitar ¿o lo dejo y hago otro punto o qué tipo de decisión tomarías?

H6: Yo lo dejaría porque es el que marcó la tendencia, después de la concentración de 400 para pasar a 500 no hubo una gran diferencia, entonces sería bueno poner una concentración de 550 o 600 y esperaríamos que la concentración también de... perdón, que la absorbancia, se mantuviera, entonces así de alguna manera sabemos que si tenemos un resultado por arriba de 600, eh, la absorbancia va a ser la misma. Así para asegurar.

E7: Sí. ¿Y qué pasaría, por ejemplo, si en 600 me diera .25?

H7: Me tendría que ir todavía al siguiente punto. Porque igual, quizá, si esta curva se mantiene, bueno, si aumenta, se mantiene y vuelva a subir, que no tendría que ser. Si acaso pasaría si cambiáramos la longitud de onda a la cual estamos haciendo la lectura de la muestra, pero como tenemos una longitud de onda fija, si esto es real, que se mantuvo aquí la absorbancia, el siguiente tendría que ser, porque no estamos ni aumentando ni bajando la energía de choque de luz sobre la muestra.

E8: Ahorita ya hablaste un poquito sobre la absorbancia; ya nos dijiste también que esto es una correlación de alguna manera y que dices que tiene que ser directamente proporcional, ¿no?, pero también, de alguna manera dices que a lo mejor, posiblemente esto ya empezaría a ser asintótico, entonces perdería eso de directamente proporcional, ahí dejaría de ser. ¿A qué se debe que pueda dejar de ser directamente proporcional y cómo, o sea, y eso sería válido que deje de ser directamente proporcional?

H8: De hecho, por ejemplo, si los puntos, yo imagino que igual, fue como que lo más correcto, porque al hacer después los mínimos cuadrados, muy probablemente un punto, lo más seguro es que este punto de 500 esté quizás hasta descartado para observar una tendencia entre los puntos experimentales previamente analizados. Eh, sin embargo, considero que está bien, y por lo que yo imagino, la demanda química de oxígeno, alcanza un límite dentro del reactor y dentro de las condiciones a las cuales se va a llevar a cabo la experimentación en donde ella sabe que arriba de 500 o de 400 la demanda de oxígeno va a ser la misma. Entonces yo me imagino que ahí ya, ya no le conviene, por lo tanto se conforma con esos dos puntos y como sabe que esto se va a volver asintótico quizás el de 500 fue una comprobación que hasta 400 podría tener una buena lectura, porque es ahí en donde entran los límites de detección y los límites de cuantificación. Igual, por

ejemplo pudo haber hecho una de 20, pero a ella no le conviene porque su método no es tan robusto y solamente le permite hacer lecturas arriba de 50, entonces también eso influye en la decisión de la curva.

E9: Entonces de alguna manera tiene que ver con lo que estás midiendo, o sea, con la sustancia a analizar.

H9: Claro, con la sustancia a analizar y con el método a analizar, qué tan sensible es, porque esto lo pudo haber hecho por otros métodos, no sé, se me ocurre, por un HPLC (refiriéndose a La Cromatografía líquida de alta eficacia o High performance liquid chromatography), cromatografía de líquidos, que también su detector es una lámpara de luz UV que prácticamente sería esto mismo, pero a través de un equipo mucho más sensible, utilizando concentraciones mucho más pequeñas.

E10: ¿También mide la absorbancia?

H10: Sí, también puede medir la absorbancia. Pero sí, también... entonces depende mucho del tipo de muestra y el método que vas a utilizar.

E11: ¿Entonces tendría que ser necesariamente lineal para que diera bien la curva de calibración o puede ser una...?

H11: La curva de calibración sí, sí debe estar muy cercana a, este, al coeficiente de correlación más óptimo, la curva de calibración, porque de eso va a depender el resultado de la concentración que tú estés midiendo cuando tengas ya tu muestra problema.

E12: Claro. Ahorita dijiste dos cosas que a mí me interesan, en una dijiste que sí tiene que ser más cercano a la recta y yo te pregunto ¿por qué tendría que ser cercano a la recta?, y otra, hablaste de un coeficiente de correlación. Podrías hablar de esas dos cosas.

H12: Si. Bueno, en principio lo que se busca con la curva de calibración, precisamente es eso, que la tendencia de los... que la influencia de la concentración sobre la absorbancia tenga una correlación y que sea directamente proporcional, ¿por qué es esto?, porque de alguna manera estamos midiendo concentraciones crecientes y sabemos que la absorbancia va a cambiar, entonces, la mejor tendencia a esto, sería que fuera lo más lineal posible en la curva de calibración. Porque en datos experimentales pues... además con bacterias no podemos asegurar eso, pero si estamos haciendo

un análisis fisicoquímico, tendría que ser lo más exacto posible, preciso y exacto a la vez porque es nuestro, nuestra referencia.

E13: ¿Hay alguna ley que sustente eso o hay algún principio o... algo que diga, tiene que ser o es por experiencia?

H13: No sí, sí hay. Están las normas de validación de métodos analíticos. Igual, esas se pueden revisar en la farmacopea mexicana, este, ahí estás las reglas puntuales de cuáles son las consideraciones a tomar para hacer válido un método analítico y esas validaciones están revisadas por, primero las realiza el analista... bueno, hay varias condiciones que debes de seguir en donde te dicen que el mismo día se debe hacer por dos analistas y al siguiente día por un tercer analista, entonces hay varias condiciones que de alguna manera aseguren que quien lo haga, siempre salga igual. Entonces sí existen esas reglas y están en la farmacopea mexicana, en la sección de métodos analíticos.

E14: Vi algo cuando estuve haciendo investigación sobre esto, vi algo que le nombran la Ley de Beer, la Ley de Lambert-Bouguer-Beer, ¿te suena esto?

H14: Si.

E15: Que habla sobre esto, sobre que tienen que ser lineales, ¿lo relacionas con eso también?

H15: Si, de hecho es la Ley, tal cual, de la que la absorbancia tiene que ser directamente proporcional a la concentración. Si aumentas la concentración, va a haber mayor absorbancia y es la Ley de Beer, y eso explica casualmente el fundamento de las lecturas de... espectrofotométricas.

E16: Y dices tú, además de las normas...

H16: Además de las normas, ya son condiciones que los analistas deben considerar. Y bueno, tienen que cumplir obviamente esa Ley de Lambert y Beer que es el fundamento precisamente el fundamento de los métodos espectrofotométricos.

E17: Y entonces cuando no se cumple la Ley de Beer, entonces, en tu experiencia profesional, este... Bueno, alcanzo a rescatar una que dijiste, que cuando se llega al punto de saturación, ¿hay otra causa por la que no se cumpla? Que hayas visto, que digas: no pues ahora me dio una cosa como logarítmica y ahora una exponencial, este, como algo que se tenga conocimiento del por qué no da, por qué deja de ser recta.

H17: Si, si... Es que estaba checando, por ejemplo de que quizás, en ese caso, a lo mejor tendrías que ser más cuidadoso en la demanda... no sé cómo haya preparado estas muestras para sacar la concentración de la demanda química de oxígeno. Entonces quizá ahí en la preparación de estas muestras para la concentración, eh, tuvo que haber estado, supongo yo, el colorante que estaban utilizando o que necesiten remover... eh... y no sé si aquí por ejemplo...

(Lee nuevamente la hoja con la información que se le proporcionó).

Ahora no sé si esto aquí, hubo una mezcla de, tanto del colorante como de la cepa bacteriana que va a utilizar para removerlo y si hay por ejemplo aquí, combinación de esas dos cosas, es decir, de la bacteria y el colorante, quizá por eso se observó algo aquí raro, en este caso. Quizá tuvo que haber hecho... supongo que tuvo que haber utilizado la misma concentración... no. Pero si hay demanda química de oxígeno, debe de haber variabilidad de concentración en bacteria. Es lo que no me queda claro, quizá hay que leer un poco más, ¿verdad?, pero sí, si por ejemplo hubo una mezcla de las bacterias y una mezcla del colorante, seguramente por eso se ve una tendencia así media fea. Quizá hubiera sido bueno, si es que aquí no varió la concentración... si varió y la concentración también de bacterias, hacer una curva diferente con solo bacterias y después una con solo colorante, y después en base a esas dos curvas, que supongo que van a quedar aquí mismo, validar esta. Quizá, por ahí pueda ser. Pero efectivamente, si hay otra razón por la que no se cumpla, es porque la concentración no va bien. Y bueno, obviamente aquí también hay factores que afectan, en cuanto a la preparación de la muestra, pero de que la ley se debe de cumplir, se debe de cumplir porque es como si nosotros estuviéramos viendo a través de aquí, del vidrio, pues no está polarizado, si le ponen un polarizante más oscuro, pues vamos a ver menos luz hacia afuera, entonces la ley siempre va a estar cumpliéndose, todo dependiendo de qué tengamos en frente. Entonces aquí quizás, hay una combinación de esas dos cosas, no sé. Pero de que la ley se cumple, se cumple; porque es el espectro espectrofotométrico de UV-Visible. Pero no se me ocurre otra razón por la cual pudiera estar fallando esa ley ahí, para que cumpliera la linealidad.

E18: Ahí tú me hablas como de este caso en específico, pero de manera general ¿tú has visto otro caso por el cual no cumple?

H18: Umm, pues no, específicamente es esto.

E19: ¿En donde tú trabajabas daban líneas bonitas o a veces daban también cosas raras?

H19: No fíjate que sí daban así bien lineales porque tratábamos de ser muy cuidadosos, primero en la preparación de la muestra, pero más allá de eso, es de que solamente estábamos utilizando solo un componente. O sea, un componente que queríamos utilizar, solamente él estaba puro y la solución en la que lo hacíamos, pues obviamente utilizas solventes que no afecten tu... a tu absorbancia.

E20: Claro.

H20: Eh, no sé metanoles. Se utilizan ese tipo de disolventes porque esos no absorben luz UV en el... cuando vas a analizar. Entonces si era muy rigurosa esta parte en la que tu analito fuera muy muy puro. Entonces, pero, otra causa que pudiera... perdón, la causa que pudiera hacer eso de que no cumpla, es la mezcla de sustancias y no conocer la concentración de ellas. O sea, porque si las conoces... Si tú estás metiendo otras cosas que no las estás considerando y su concentración sí te afecta la absorbancia, podría ser la principal causa. Pero no se me ocurre otra así.

E21: ¿Para cualquier rango de concentración se puede medir en un espectrofotómetro o únicamente para determinado rango?

H21: Para cualquier, sí para cualquiera. Se puede hacer en todos.

E22: Esta ya está un poquito más difícil ¿Qué significado tiene la pendiente de la recta que se traza ahí? Si es que lo tiene.

H22: Ajá, el significado de la pendiente. Eh, tengo entendido que es el resultado ya de la aplicación del método estadístico de los mínimos cuadrados. Es la diferencia entre el punto previo y el punto posterior al que vamos a analizar y es la distancia que hay entre cada punto y eso representa el cambio de...

E23: A lo que me refiero es desde el punto de vista físico eh.

H23: Si. Digamos que la pendiente te va a dar una aproximación de cuáles serían los cambios en las concentraciones pequeñas. Bueno más bien, sí. El cambio en las concentraciones pequeñas de 300 a 400, digamos que se podría mantener como una constante, entonces esa es la magnitud física que tú vas a mantener entre la distancia de esos dos puntos. Entonces cuando yo tenga pues lo que es $y=mx+b$, entonces la b ... la pendiente se va a mantener constante y equis va a ser la concentración que queramos conocer. Entonces se va a multiplicar más el origen que va a estar dado por la

extrapolación de recta. Entonces sí, es como que la proporción que va cambiando de dos concentraciones. En resumen.

E24: ¿Respecto a la absorbancia?

H24: Sí. Respecto a la absorbancia, es lo que yo diría. Es el cambio proporcional que existe entre dos concentraciones, en este caso, por ejemplo, ya sea de 300 a 400, y que va a ser constante a través de toda la línea.

E25: Sí, porque si lo hacemos en pequeños segmentos ya cambiaría, ya no sería constante. Si fuera una sola pues sí.

H25: Se calcula para una sola, exactamente.

E26: No sé si me contestaste ésta ya, pero igual, te la vuelvo a hacer, este, ¿a qué se debe que el valor de absorbancia que da un equipo sea una medida indirecta de la concentración?

H26: Ah, porque es una variable independiente. Es indirecta porque yo estoy... yo solamente puedo controlar la concentración de mi analito, de lo que yo voy a buscar. Yo solamente conozco la concentración del analito, entonces al yo poner mi muestra, la absorbancia es una medida indirecta, porque es solamente lo que el equipo pudo detectar, la luz que pasó a través de mi muestra y fue la luz que pasó, y que el equipo pudo detectar. Todo lo demás lo absorbió mi compuesto, toda esa energía la absorbió mi muestra. Entonces por eso es una medida indirecta, porque toda la luz se quedó reflejada por la concentración de la muestra.

E27: Cuando se mide esa luz, ¿cómo lo hacen, con una resta o con un cociente, o qué es lo que mide...? No sé, me imagino así, que la celda por donde está pasando esa luz... la luz que está incidiendo y la luz que está transmitiéndose, que pasa... eh, ¿cómo se calcula para sacar esta absorbancia?

H27: Si. Eh, tú primero tienes que poner el famoso blanco, ese blanco te va a dar una lectura; yo me imagino que aquí el blanco deben de ser las bacterias y después de las bacterias, ya comenzar a meter concentraciones del color. Ese blanco es una resta. Tú tienes una lectura con... Ese blanco te puede dar una lectura con no sé, vamos a poner de .1, entonces todas las muestras, les vas a sumar... esas muestras que tú vas a ir a leer, deben de llevar ya el .1 mas el colorante, entonces sí, el

equipo hace una muestra del blanco que sería .1 menos la lectura que tuviste ya de tu muestra problema. Sí, es una muestra que ya hace la lectura.

E28: ¿Hay alguna expresión matemática para la absorbancia en relación con la concentración?

H28: Amm, sí, pero no la recuerdo.

E29: No te preocupes, ahorita la recordamos.

¿Sí te acuerdas cómo es la expresión matemática de la Ley de Beer?

H29: No, no recuerdo exactamente.

E30: Bueno, te la voy a poner, igual para que te vayas dando luz de algunas cosas ahorita y vayas recordando. (Empieza a escribir). Era absorbancia es proporcional a una b y a la concentración.

Este era un coeficiente de absorptividad, este es el espesor de la celda y por acá está la concentración. (Señalando en la fórmula).

Sí, pero también había otra

H30: Ajá, sí. De hecho hay otra donde incluso tienes que poner el... el volumen de la muestra de la celda. Hay otras que son mucho más robustas precisamente por eso. Por el tipo de celda y porque hay equipos que sí te permiten hacer ese cambio de celda y hay otros que ya la tienen fija.

E31: Ah ya entiendo. ¿Pero en este caso, por ejemplo en uno sencillito?

Entonces esa es como para el normal, ¿no?, dices tú, si cambia la celda, entonces quizá ya necesite otra especie de fórmula.

Hay otro parámetro al que le nombran transmitancia, ¿sí recuerdas ese?, y había otra fórmula para la transmitancia que decía que la absorbancia es igual al menos logaritmo en base diez de la transmitancia, ¿sí te suena esa?

H31: Sí.

E32: ¿Sabes a qué se debe que esa sea la expresión así para la transmitancia?

H32: Si porque ya se está considerando como la luz que pudo haber sido detectada, o sea, ya no... precisamente lo que hablábamos hace un rato, la transmitancia la entiendo como la luz que se va a poder detectar, obviamente ya obviando la luz que haya absorbido la muestra. Así lo entiendo.

E33: O sea, mientras una mide la que está pasando...

H33: La otra mide la que se está reteniendo... Sí.

E34: OK. Este, aquí le había puesto que qué valor tiene que tomar la absorbancia cuando la concentración es cero, pero creo que ahorita hemos hablado ya un poquito sobre eso, o sea, teóricamente tendría que ser cero, pero ¿ocurre realmente eso, que cuando la concentración es cero, la absorbancia de cero?

H34: Pues ¡vaya! O sea, teóricamente debe de ser, pero comúnmente también la calibración de los equipos debe de ser indispensable, tiene que ser periódica y bueno, este... Aun así fíjate que si no da cero, de todas maneras como te digo tú fijas en tu equipo esa lectura como blanco y esa lectura siempre se va a estar restando a tus muestras.

E35: Sí, porque se supone que por eso se usa como el blanco, el blanco es el que... o sea, aunque no sea cero, se toma como cero... Entonces una pregunta me surge ahí, ¿por qué no se pone entonces el cero como cero como un punto?, si al final eso era el blanco.

H35: Eh, quizás por... digo es más ético no tener que resetear el equipo a cero cuando yo sé que mi lectura está siendo un poquito más arriba, entonces, si yo le doy a cero a mi equipo, no va a estar restando la lectura que yo tuve en mi muestra inicial con las lecturas que yo voy a estar tomando posteriormente.

E36: No, pero yo me refiero ya en la reseteada... o sea, cuando *resetas*, bueno, cuando haces el reseteo. No sé cómo decirlo.

H36: Sí, ponerlo en cero a tu equipo, lectura de cero.

E37: ¡Va! Ese, al final, sería como un punto del cual partes, ¿no?, o sea, entiendo esto: cuando pasa la luz por la muestra, alguna se va a quedar dispersada...o que se absorba por el mismo tipo de celda... entonces entiendo que la luz que se toma como cero, realmente va a ser la luz que pasa cuando ya lo hiciste con el blanco, más no la luz que incidiste sobre el blanco, entonces esa es la luz que se toma como cero, entonces ahora, si ya sabes que esa es la luz que vas a tomar como cero,

entonces ahí si estás teniendo un cero coma cero, pero yo no he visto que pongan un cero coma cero en la gráfica normalmente ¿en la industria tampoco lo hacen? Bueno ¿a nivel laboral tampoco?

H37: No. Tú lo tomas ya como cero y haces tu gráfica normal. Pero no pones la lectura inicial real pues.

E38: Si, porque si yo lo pongo aquí en cero coma cero, o sea, si me daría una gráfica diferente, ¿no? Igual, no tan diferente, pero sí cambiaría.

H38: Si, pero no se hace.

E39: ¿Con esta gráfica es posible conocer un valor de concentración que no esté en ese rango? O sea, no sé, ya tienes tu curva y ahora vas con una muestra de alguna que tomaste de otra parte y quieres medir la concentración con la ecuación o el modelo matemático que tienes. Pero la pregunta es: si sabes que te da una absorbancia mayor, por ejemplo de .4 ¿Tú podrías decir que vas a tener una buena medida de concentración?

H39: No, no se puede hacer porque en principio...como hay otra regla para esto es que mínimo debe de haber tres puntos... o sea, si yo quiero hacer una lectura, por lo menos debo de tener tres puntos y obviamente esos tres puntos también deben de incluir la concentración o la absorbancia que yo busco, entonces no se podría, no sería una buena lectura.

E40: Tendría que estar... o sea, ¿la lectura de la absorbancia tendría que estar como en este rango que yo estoy graficando?

H40: Sí. Si yo quiero tener una lectura mayor, porque eso pues tú lo vas a considerar dependiendo la concentración que estés usando, tendrías que poner tres puntos más. O sea, para poder hacer... que incluya a la lectura que tú quieres hacer, tu curva de calibración tiene que tener al menos esos tres puntos. Bueno, uno intermedio, uno por arriba y uno por debajo de lo que tú buscas. Pues sí debe... vaya, no lo puedes hacer pues.

E41: ¿Y eso es por miedo a que no sepas cómo se va a comportar después o por qué?

H41: ¡Exacto! y además te debes de adecuar a tu curva de calibración. Matemáticamente sí se puede, pero no sabes cómo vaya a ser en la realidad. Pero de que puedes hacerlo, lo puedes hacer.

E42: ¿En tu lugar de trabajo no te dejarían?

H42: No, no puedes.

E43: ¿Tendrías que hacer la curva más grande?

H43: Si.

E44: ¿Entonces únicamente me serviría para interpolar, más no para extrapolar?

H44: Ajá, si tendría que ser aquí, pero no para asegurar un resultado más allá.

E45: Ah, entiendo. ¿Cómo trazarías una curva que obedezca a esos puntos? Si quieres puedes trazarla aquí (señalando la gráfica 1).

H45: De acuerdo a la tendencia yo la trazaría así.

E46: ¿No recta? O sea, recta has aquí y dices tú que ya después hay algo como asintótico.

H46: Y en realidad hasta yo trataría como de eliminar este punto (refiriéndose al último punto).

Si es que esto se vuelve así. Pero en realidad, digamos que a veces la mejor tendencia lineal es sobre... vaya, no es que sea así, pero comúnmente la mejor tendencia es en medio de todos esos puntos. Trazar la recta con la curva que tú... perdón, la tendencia en estos puntos trazarla considerando que abarque el mayor número de puntos.

Vaya, tampoco lo vas a unir cuadrito por cuadrito.

E47: De hecho ahorita te muestro una gráfica en donde sí los uno y vamos a platicar sobre esa.

Tu premisa es entonces que este (refiriéndose al punto 5) lo podemos eliminar para que de aquí se fuera un poquito más recto, pero también yo veo si por ejemplo, si elimino este (refiriéndose al punto 4), esto pareciera como más recta. ¿No te pareciera mejor opción hacer esto o tú dices que la mejor opción sería esta?

H47: Sí, podría ser mejor opción, siempre y cuando se mantenga esto (refiriéndose a la linealidad). O sea, que el siguiente punto sea a la misma concentración y ahí ya podemos asegurar que arriba de 400 la absorbancia no va a estar cambiando. Ahí sí yo puedo trazar la mejor curva que involucre a este punto. Y sí, de hecho abarcaría mejor, este... pues no sé, un mayor número de puntos. Es probable.

E48: Hace rato hiciste énfasis en que tendrías que hacer otro para ver, si te sale por acá, entonces tomarías este y si te sale por acá, entonces tomarías este. Y es que sí se ve como si se estuviera haciendo una curva ya.

Sí, porque esto es lo que se reporta en este trabajo de tesis, entonces por eso mismo traté de buscar algo donde justamente se problematizara eso y que no fuera algo como: ay pues es una recta y ya.

H48: Que salga bien bonita y ya.

E49: Claro, exactamente, lo que quería ver es como tus argumentos sobre este punto y sobre todos sobre este que son los que de alguna manera causan ahí el conflicto.

¿Consideras tú, que esa gráfica que muestran es una buena gráfica, o sea, tú la dejarías así ya o qué harías? Porque dices que ya no hay que volverla a hacer.

H49: Eh, para curva de calibración, no. O sea, por más allá de que pueda yo acomodar estos puntos por mínimos cuadrados, no. No la considero como una buena curva de calibración. De hecho en la curva de calibración se debe de observar inmediatamente la tendencia y en esta no se nota. Más allá de que en estos puntos se mantengan ahí, al menos en los cinco primeros deben tener una buena tendencia.

E50: ¿Hay algún factor estadístico? Hace rato hablabas de la erre, este, ¿cuánto tiene que valer esa erre para que yo diga que...?

H50: Lo más cercano a uno. Es lo ideal.

E51: ¿Si mide .9 ya está bien o...?

H51: Pues se considera aceptable arriba de .95. La mayoría de los casos. Pero sí, debe ser lo más cercano a uno. Abajo de... es que hasta 9 todavía podría aceptarse. Pero digamos que por norma de estos métodos analíticos es arriba de .95.

E52: Ah. Mira, te voy a mostrar la gráfica 2. En esta gráfica yo quité el punto cuatro, que era el de 400. Entonces ahí hay una gráfica, una recta que se puede trazar y que seguramente va a obedecer mejor que la pasada, pero mi pregunta es ¿yo puedo, así como si nada, quitar ese punto y reportarlo así? ¿Es correcto que yo pueda hacer eso o no se vale? Porque estadísticamente sí es correcto quitar un punto que no esté en la relación, pero ¿a nivel práctico se permite eso?

H52: De hecho yo el que quitaría sería este punto (refiriéndose al sexto punto). En realidad yo si voy a quitar uno, quitaría este, ¿por qué?, porque primero va a ser muy cuestionable, ¿cómo va ser posible que no hayas hecho la medida de un punto de 300 hasta 500 miligramos por litro y por ejemplo esta concentración, hablando en términos de medicamentos, es mucha concentración si tú estás vendiendo tabletas con una concentración de 400 miligramos y no estás considerando ese punto, tu medición está totalmente errónea, entonces... en base en lo que tú estés midiendo... vaya, lo que sea. Yo dejaría el quinto y quitaría el sexto punto, porque el quinto es el más cercano a la concentración previa.

No lo puedes quitar así indiscriminadamente, hay muchos factores que te pueden ayudar a tomar esa decisión y en este caso pues sí, hablando de medicamentos, no lo puedes quitar; puedes quitar el último. Y yo quitaría el de la concentración de 500 miligramos.

E53: ¿Eso sería si no tienes tiempo de volverlo a hacer? Si no, dices que sí tendría que volver a hacer otra vez las alícuotas para volver a...

H53: Si.

Pues sí, hay mejor tendencia, pero no. Yo quitaría el quinto punto.

E54: Pasamos a esta otra, que es la misma que la primera, pero aquí sí hice la regresión lineal ya. Este, bueno, ahí muestra esta ecuación $y=0.0004x+0.0094$. Y bueno, lo que te decía hace rato, aquí claramente se ve que cuando la concentración toma un valor de cero pues la absorbancia no da cero, entonces, este, ¿es común que se dé esto entonces?, de que no de cero coma cero porque pues si lo extrapolamos aquí queda arriba. ¿Es correcto que pase eso entonces?

H54: Sí, si pasa.

Y bueno, ya matemáticamente como en realidad se están ajustando los puntos a esta línea, pues con mayor razón va a pasar.

E55: Ya.

H55: Matemáticamente, en la expresión.

E56: Sí, claro.

Desde tu experiencia profesional, ¿tú notaste que hay diferencia en la interpretación de esta gráfica como se te enseñaba en la escuela a como era en la industria o crees que era algo muy similar?

H56: Sí hay diferencia, porque en un trabajo ya no vas a aprender, sino que la interpretación de la gráfica es que te dé lo mejor posible, más allá de que el analista sepa o no cómo está la teoría del diseño de una curva de calibración, el objetivo es siempre lograr la mejor dispersión de tus puntos y en la escuela sí hay mucho énfasis en hacerlo bien e incluso hasta en graficarlo a mano todavía. Ya después cuando te vas dando cuenta que el Excel hace maravillas y cualquier otro programa también, pues se te facilita más la vida. Pero sí, si hay diferencia, en el ámbito laboral el resultado es lo que importa más allá de que sepas el fundamento de la calibración, que eso está mal, al final no es muy bueno, pero sí es como que el compromiso propio de saber qué es lo que estás haciendo. Y además eso te ayuda cuando se trata de este tipo de problemas y dices: bueno, pues no está la tendencia como tendría que ser, entonces comienzas a ver cuál es el fundamento de tu técnica y es ahí en donde puedes echar mano de los conocimientos que adquiriste en la escuela para poder modificarla y corregirla sin meterle ahí datos inexistentes, sino hacerlo de la mejor manera.

E57: En la escuela normalmente se conforman con 4,5 o 6 puntos, ¿en lo laboral también esa es una buena cantidad de puntos para hacer una buena curva de calibración o había que hacer más? Algunos me decían que había que hacerlo por triplicado, ¿cuál fue tu experiencia ahí?

H57: Sí, de hecho, todas las lecturas que se tengan que hacer y no solo en la industria sino en cualquier análisis que yo llegué a hacer en prácticas de laboratorio, todas las lecturas tienen que ser por triplicado, para que de esa forma tú también saques un promedio de esas lecturas y con esa tú también puedes asegurar que las lecturas que te está dando el equipo están siendo confiables. Entonces sí, todo es por triplicado siempre y 5 o 6 puntos son adecuados, obviamente siempre considerando todo dentro de las concentraciones que tú vas a manejar.

E58: Entiendo ese punto, haces mucho énfasis en eso y me resulta interesante porque creo que no lo había escuchado. Entonces tú dices: si voy a preparar, no sé, pastillas de 50 miligramos, checo que yo tenga en ese rango...

H58: Tienes que irte a concentraciones de 10 miligramos y tienes que hacer que tu método sea capaz de detectar 10 miligramos. Si tu equipo no detecta... Sí, haz de cuenta que tú pones una concentración de 10 miligramos y no tienes un resultado de absorbancia, pues la sensibilidad del método no es adecuada. Tienes que cambiar mejor de método.

E59: ¿Y entonces no me serviría esta gráfica para concentraciones más pequeñas porque pueda ser que no sabes qué puede pasar ahí?

H59: Pues como te digo, si tienes 10 miligramos no vas a tener un resultado de absorbancia.

E60: ¿Aunque lo pueda extrapolar? Porque si lo extrapolo aquí yo...

H60: Lo tienes, pero experimentalmente no lo estás detectando.

E61: Y ahí es como de miedo, ¿no?, no sabrías que podría...

H61: Imagínate que sea un medicamento para el corazón, que solamente necesitas 30 miligramos y le estás dando 50 miligramos, pues lo matas. Entonces sí, ahí tienes que ser muy cuidadoso con eso.

E62: En ese caso se buscaría un equipo que fuera como más sensible, dices.

H62: Si. Pero para concentraciones elevadas el espectrofotómetro es lo ideal.

E63: ¿Cómo se interpreta...? Bueno, aquí hay un valor. ¿Cómo se interpreta que R^2 valga 0.9631? ¿Qué significa eso? ¿Es bueno o no es bueno?

H63: Es bueno porque el método de mínimos cuadrados ajustó adecuadamente esos puntos. Lo ajustó de tal manera que fuera una tendencia lineal y que se cumpliera la ley, que todo sea directamente proporcional, la concentración con la absorbancia. Entonces el resultado de arriba de .95, como te decía, se considera un buen resultado y que los datos experimentales son adecuados para poder hacer una siguiente medición.

E64: Esta pregunta quizá ya es un poco redundante, te decía que si puede determinar si se obtendrán buenas mediciones de concentración, tú dices que sí, que porque es un valor cercano a uno.

Y ya finalmente, que me platicaras un poquito sobre tu trabajo, ¿para qué usaban las curvas de calibración?

H64: Este sí, en el trabajo lo que yo hacía para utilizar curvas de calibración empleando métodos espectrométricos con un espectrofotómetro era para decir el fin de una reacción, ¿qué es esto?, cómo se llevó a cabo la transformación de mi fármaco, de mi principio activo y para evitar pérdidas de materia prima, entonces yo tenía que ir a generar una curva de calibración del producto que yo

quería analizar, es decir, cuál es mi producto de acuerdo a mi reacción. No sé, $A+B \rightarrow C$, entonces yo preparaba una curva de diferentes concentraciones de C y hacía una lectura de absorbancia de tal manera de generar también una tendencia lineal. Entonces yo, cuando estaba monitoreando mi reacción durante el proceso de síntesis, tenía que observar el aumento en la concentración de C, ¿y eso cómo lo sabía?, pues ya con mi curva de calibración. Entonces era indispensable, en este caso para saber que tanto A como B habían reaccionado entre ellos para generar C y así evitar la pérdida de materia prima de A y de B; y todo esto lo llevábamos hasta, digamos que hasta un 99% de confiabilidad de que se había transformado todo hasta el producto deseado. Entonces era ahí en donde nosotros utilizábamos el espectrofotómetro y como tenían que ser lecturas rápidas, porque la reacción duraba entre 3 y 4 horas... Entonces prácticamente lo utilizábamos para medir el curso de una reacción a través del tiempo.

E65: Bueno pues Humberto, muchísimas gracias.

H65: No de nada, espero haber aportado algo.

INFORMACIÓN DE CONTACTO

M. C. Jesús Grajeda Rosas

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional
(CINVESTAV-IPN)

Departamento de Matemática Educativa

Área de Educación Superior

Correo electrónico: iq_jesusgr@hotmail.com

Correo electrónico alternativo (institucional): grajedar@cinvestav.mx

Obtención de grado de Maestro en Ciencias: Noviembre de 2014

Para citar este trabajo use la referencia:

Grajeda-Rosas, J. (2014). *Saberes matemáticos asociados a la curva de calibración en el análisis químico: Un caso* (Tesis de maestría inédita). Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Distrito Federal, México.