



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

LA ÉTICA DEL QUÍMICO.

**PERCEPCIONES SOBRE RIESGO Y RESPONSABILIDAD EN LA COMUNIDAD
QUÍMICA**

TESINA

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

QUÍMICA FARMACÉUTICA BIÓLOGA

PRESENTA

ADRIANA ABIGAIL LÓPEZ PÉREZ



Ciudad Universitaria, CDMX

2017



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: **Profesor: Luis Avelino Sánchez Graillet**

VOCAL: **Profesor: Alfonso Mieres Hermosillo**

SECRETARIO: **Profesor: Giovana Vilma Acosta Gutiérrez**

1er. SUPLENTE: **Profesor: Jorge Rodrigo Castillo Romero**

2° SUPLENTE: **Profesor: Elizabeth Katina Galván Miranda**

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA: FACULTAD DE QUÍMICA UNAM

ASESOR DEL TEMA:

Luis Avelino Sánchez Graillet

SUSTENTANTE:

Adriana Abigail López Pérez

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México

A la Facultad de Química

A el Mtro. Luis Avelino Sánchez Graillet

Dedicatorias

A mis padres; a mi padre José Roberto por todo su amor, enseñanzas y sobre todo por toda la confianza deposita en mí, a mi madre María Teresa por el amor, los cuidados y aprendizaje a mis hermanos Coral y Juan Carlos a mis cuñados Natali y Eduardo por todo el cariño y paciencia, por darme a mis sobrinitos Emi, Javi, Cony y Ximena gracias a ustedes mis amores, por sacarme de las penumbras tantas veces sin saberlo, porque ustedes tienen la magia de recordarme de lo que en verdad está hecha la vida.

A mis hermanitos por elección, Simo gracias por compartirme tú inmenso cariño por todos los mimos, apapachos, consejos por siempre estar ahí a pesar de todo y enseñarme tanto sobre la bondad que puede haber en un ser humano, Ondu boy por todo tú cariño, apoyo y aguantarme tanto (**especialmente por todos los "tranquila"** cuando más perdida me sentí, y por la necesaria y oportuna corrección de estilo) a Sandy por todas las enseñanzas, por ser un ejemplo de vida, a Jatziri mi hermanita de **espiritualidad por enseñarme que "quién elige el camino del corazón nunca se equivoca"**, Memo mi ardilla favorita, gracias por todo lo dulce y lo amargo, por ayudarme a ser una mejor persona Rulo por nuestra charla infinita y cada momento compartido lleno de aprendizaje, a Elizabeth y Julian gracias por siempre cuidar nuestra amistad, Koer por todas las risas que solo tú sabes sacarme, Sebastián por toda tu ayuda y cariño, Ricky gracias por compartirme a tú familia, Beto por ayudarme con ecuaciones diferenciales, pero sobre todo por tú amistad. Gracias hermanitos por todo, sin ustedes mis cronopios-colibries-champis mi vida no sería la misma.

A mis hogares adoptivos a la familia Aguilera Sánchez mil gracias por hacerme parte aún sin conocerme, especialmente a mamá Elia por todo su amor, a la familia Velasco Becerril por su infinita paciencia, apoyo, enseñanzas y cariño, por hacerme sentir como una hija más.

Por último, pero no menos importante, a todos los contribuyentes que hacen posible que esta Universidad siga siendo pública, sin ello muchas personas no hubiésemos podido estudiar lo que soñábamos.

"La utopía está en el horizonte. Camino dos pasos, ella se aleja dos pasos y el horizonte se corre diez pasos más allá. ¿Entonces para qué sirve la utopía? Para eso sirve: Para caminar..."

Fernando Birri (1925)

"si quieres cambio verdadero pues, camina distinto"

Rene Pérez Jolgar

In memoriam

León Olivé

Índice

INTRODUCCIÓN.....	10
Capítulo 1. El científico frente a unidimensionalidad de las dos culturas.	13
1.1 ¿Qué es la unidimensionalidad?.....	13
1.2 Las dos culturas.....	15
1.3 El cientificismo	16
1.4 Multidimensionalidad como alternativa.	18
Capítulo 2. La no neutralidad de la ciencia y la tecnología.....	20
2.1 La no neutralidad	20
2.2 El miedo a la ruptura de los paradigmas como manifestación de la no neutralidad.....	23
2.3 Relación ciencia, tecnología y tecnociencia	26
Capítulo 3. Incertidumbre y principio precautorio	31
3.1 El principio precautorio.....	31
3.2 El vínculo indisoluble entre el PP y la incertidumbre	36
Capítulo 4. La evaluación de la evidencia científica como una cuestión ética. ...	43
4.1 “El método”	43
4.2 La evidencia científica	50
4.3 El uso técnicas estadísticas para lograr una adecuada aplicación del PP.	54
Capítulo 5. El Bisfenol A, [BPA] 4,4'-[propano-2,2-diil] difenol como estudio de caso de ética en química y un argumento en favor de la precaución.	58
5.1 Generalidades del BPA.....	59
5.1.1 Biotransformación del BPA	61
5.2 Problemática entorno al BPA.....	62
5.2.1 Toxicidad del BPA como disruptor endocrino.....	62
5.2.1.1 Mecanismo y modo de acción.....	62
5.3 La aplicación del Principio Precautorio (PP).....	70
Paso Uno: Identificar la posible amenaza y caracterizar el problema.	71

Paso Dos: Identificar lo que se sabe y lo que no se sabe sobre la amenaza	74
Paso Tres: Reformular el problema para obtener una descripción de lo que debe hacerse.....	75
Paso Cuatro: Evaluar las alternativas.....	75
Paso Cinco: Determinar el curso de acción.....	77
Paso Seis: Monitoreo y seguimiento.....	77
5.4 El BPA un blanco de aplicación del Principio Precautorio (PP)	78
Capítulo 6. Percepciones sobre la responsabilidad ética en la comunidad científica.....	81
6.1 De la moral a la ética.....	83
6.2 El contenido moral en el quehacer científico.....	84
6.3 El determinismo	85
6.3.1 Determinismo biológico.....	85
6.4 El uso de teorías científicas para generar reduccionismo.....	86
6.5 Ética, química y sociedad.....	89
Bibliografía.....	92

INTRODUCCIÓN

En este trabajo se pretende presentar un panorama general de la importancia de la ética en el ejercicio del científico en específico de la comunidad química, haciendo énfasis en el riesgo y la responsabilidad moral que estos profesionales enfrentan al ejercer su profesión.

La situación mundial actual es complicada, la humanidad se encuentra en un momento crítico de la historia pues la sobrepoblación y el calentamiento progresivo del planeta tienen repercusiones enormes en lo social, económico y político. Las decisiones que se tomen de hoy en adelante determinaran la supervivencia de no solo la especie humana sino de muchas otras formas de vida en el planeta.

El papel que juega la ciencia para la toma de decisiones que coadyuvan a la resolución de los problemas que enfrenta la humanidad en la actualidad es particularmente importante; se corre un enorme riesgo al asignarle única y exclusivamente a ésta, toda la responsabilidad. Es **peligroso debido a que la ciencia no es un "ente" que solo genera progreso**, la ciencia es un saber humano y los agentes que la ejercen son los hombres que, si bien pretenden ser objetivos, en diversas circunstancias pueden no serlo del todo.

En las Universidades del mundo, en las facultades de ciencias en las cuales se imparten carreras como Matemáticas, Física y Química los estudiantes reciben muy poca o nula formación humanística lo cual genera un gran problema ya que al final el resultado, en el mejor de los casos, es tener profesionales con un alto nivel académico pero con escasa formación en humanidades **lo cual los "mutila"**, pues son individuos que poseen un conocimiento muy particular que tiene un intenso impacto en la sociedad y

no son completamente conscientes de la responsabilidad que conlleva. Los científicos como cualquier otro ser humano se rigen bajo su propio código **moral, sin embargo, es común "que la literatura de la cultura tradicional no les parece relevante para esos intereses. Desde luego, están absolutamente equivocados. Como consecuencia, su comprensión imaginativa es menor de lo que podría ser. Se empobrecen a sí mismos"** (Snow, 2000 p. 84). El riesgo de esta educación es que los jóvenes egresados generan una visión en la cual se niega todo valor a lo que no es científico, lo que genera una unidimensionalidad científicista.

En el capítulo uno hablo de la manera en como el científico se enfrenta a un mundo en el que las cosas no pueden abordarse unidimensionalmente como se le enseñó durante toda su educación universitaria. Es aquí donde éste debe decidir entre dos caminos uno de ellos es el de hacer frente a su responsabilidad ética que sobrepasa su posición de científico y lo traslada a la posición de ser humano, en donde debe salir del cómodo camino de la unidimensionalidad, para incursionar en el mundo de la multidimensionalidad lo cual implica tomar en cuenta, en todo tiempo de su investigación, los aspectos sociales en que ésta puede influir.

En el segundo apartado, abordo el dilema de la neutralidad de la ciencia. Menciono cuales son las principales circunstancias que impiden que la neutralidad sea una plena cualidad atribuible para la ciencia, apoyada por el concepto de **"paradigma" planteado por Thomas Kuhn**. Hago notar como la resistencia a la ruptura de paradigmas científicos es una manifestación de la no neutralidad de la ciencia. Así mismo como la estrecha relación entre ciencia y tecnología implica una interdependencia mutua que da lugar a la tecnociencia y por lo tanto las consecuencias indeseables que se generen deben ser tratadas desde una perspectiva ética. En el tercer capítulo

introduzco el concepto de principio precautorio (PP) como una alternativa mediante la cual se pueda prevenir éstos efectos negativos.

Una de las principales objeciones que se hacen a el PP es la de cómo se debe actuar cuando existe una alta incertidumbre. En la cuarta sección me dedico a hablar del método científico para luego hacer un análisis de lo que se considera evidencia científica ya que en esta recae la aplicación del PP y es dependiente del grado de incertidumbre que se tenga respecto al objeto estudiado. Así en la quinta sección mediante la guía del manual escrito por (Tickner et al. 1999) **“Principio precautorio en acción”** utilizo el Bisfenol A (BPA) como caso de estudio. Realizo un breve bosquejo de cada paso, para demostrar que es posible la aplicación del PP. Para finalizar la última sección es un análisis de la importancia de la ética en el quehacer científico.

Capitulo I. El científico frente a la unidimensionalidad de las dos culturas.

1.1 ¿Qué es la unidimensionalidad?

Llamar a algo unidimensional equivale a afirmar que es prisionero de una perspectiva estrecha, incapaz de salir de un camino prefijado que se reduce a un ámbito lineal que no sabe de la existencia de otras cosas, así puede ocurrir por dos razones contrapuestas, por incapacidad de salir de su única dimensión o por negar la existencia de otras muchas. (Fernández, 1995, p.28).

Para ilustrarlo, referiré la explicación que Carl Sagan (1980) brinda sobre la cuarta dimensión:

Usted tiene que imaginar que es completamente plano y habita en **“planilandia”**. Sin excepción alguna, todos los que la habitan son planos: triángulos, círculos, cuadrados; tienen largo y ancho, pero no tienen altura, pueden moverse adelante y hacia atrás pero nunca de arriba abajo. Su visión es similar a observar una moneda desde el borde de una mesa, la moneda parecerá solo una línea a pesar de ser un círculo. **Ahora imagine que sobre “planilandia” aparece un ser tridimensional con forma de manzana, este ser decide decir “hola” al señor cuadrado** en un gesto de amistad interdimensional y se presenta como una criatura tridimensional, el señor cuadrado mira alrededor y no ve a nadie, como es lógico, comienza a dudar de su salud mental. La criatura tridimensional no está feliz de ser considerada una aberración psicológica, así **que entra parcialmente en “planilandia”**, sólo un corte plano de ella puede ser visto cuando entra en **“planilandia”**, únicamente los puntos de contacto con la dimensión que habita el cuadrado son visibles. Mientras la manzana desciende se verán progresivamente rebanadas más grandes, así que el cuadrado ve una serie de líneas que aparecen misteriosamente de la nada,

cambiando su tamaño drásticamente mientras la manzana se mueve en el espacio de arriba abajo dentro de un cuarto, la conclusión del cuadrado es que se ha vuelto loco; la manzana, algo molesta por esta conclusión, en un gesto no muy amistoso hace contacto con el cuadrado y lo eleva, dejándolo caer flotando y girando sobre **"planilandia"**. **Al principio el cuadrado no tiene idea de lo que está pasando**, es algo que jamás ha experimentado, cuando se repone se da cuenta de que puede ver dentro de los cuartos cerrados de **"planilandia"**, **puede ver dentro de las criaturas planas**, está viendo **"planilandia" desde una perspectiva que nadie ha visto antes en su dimensión**.

Entrar en otra dimensión provee el beneficio instantáneo de una especie de visión de rayos X, es como observar la mesa con la moneda desde arriba. Ahora la criatura plana lentamente desciende hasta la superficie y sus amigos corren a verlo, para ellos apareció misteriosamente de la nada, no llegó caminando, simplemente apareció de algún lugar. Al interrogarlo sobre lo que sucedió, el pobre cuadrado responde, estaba en una dimensión mística llamada arriba, ellos le dan palmaditas en la espalda, lo reconfortan y le inquietan, muéstranos dónde está esa tercera dimensión, señálala. El pobre **cuadrado será incapaz de hacerlo...**

Podemos **ver que los habitantes de "planilandia" son incapaces de concebir otra dimensión como real** y lo más sencillo es anularla para volver al placido confort de vivir en la unidimensionalidad. Como menciona Jacquard (2001), esta tendencia, peligrosa a la unidimensionalidad, es una victoria de la pereza intelectual.

Ahora, haciendo una analogía, supongamos que el señor cuadrado es **un científico que vive en "planilandia", su dimensión, donde las cosas se**

explican mediante el lenguaje científico. De pronto llega ese ser de otra dimensión que intenta entablar un diálogo, pero el científico no entiende, está limitado por las condiciones de la dimensión en la que vive o bien a la inversa. Afortunadamente al intentar conciliar las dimensiones del científico con el humanista, el desenlace puede ser dirigido a algo no tan catastrófico, como en el caso del señor cuadrado al que nadie le creyó. Aquí, solo hay que poner la suficiente voluntad de ambas partes para trasladarse de una dimensión a otra. Una vez hecho esto, es muy interesante darse cuenta que en realidad la dimensión en la que vivía cada uno no era más que una estratificación sintética, creada por los mismos humanos para facilitar la comprensión de una parte específica de la realidad. Lo cierto es que esta división solo es mental, pues en la realidad todo se encuentra interconectado y todos somos parte de ese todo.

1.2 Las dos culturas

Los intelectuales literarios en un polo, y en el otro los científicos. Entre ambos un abismo de incompreensión mutua, a veces (particularmente entre los jóvenes) hostilidad y desagrado, pero sobre todo falta de entendimiento (Snow, 1959, p. 76). Mediante esta premisa el físico inglés comienza su descripción del fenómeno de las dos culturas.

Con Snow por primera vez se plasma la idea de la unidimensionalidad. Lo que hace es plantear el problema que a lo largo de su vida detecto, gracias a que logró moverse entre ambas culturas. Poner en la mesa cuan grave es el modo unidimensional de dirigirse de las dos culturas, ya que existe un odio mutuo basado básicamente en prejuicios e ignorancia de ambas partes hacia el saber del otro.

Es bien sabido que cuando un joven se enfrenta a la enormísima decisión de elegir una vocación, éste opte por algo que le guste y que además sea bueno en ello. Esto explica, de alguna forma, porqué cuando **este joven se enfrenta a "la otra cultura", algo en lo que probablemente no** sea muy bueno o le cuesta trabajo entender, suele rechazarla y diezmar su relevancia mediante falacias.

Si se analiza la descripción hecha por Snow del sistema educativo de Inglaterra en el año de 1959, podemos ver claramente reflejada la educación universitaria en México: los alumnos son sometidos a una especialización rigurosa, con la cual, al graduarse, puedan incorporarse eficientemente a las industrias o bien acceder a un posgrado. El problema aquí es que el estudiante recibe poca y carente formación humanística y en el peor de los casos nula.

1.3 El cientificismo

El cientificismo sostiene que no hay otro conocimiento verdadero que el conocimiento científico, por lo tanto, lo que lo convierte en una consecuencia del positivismo. Este es un claro ejemplo de unidimensionalidad, ya que algo muy resaltado y criticado del positivismo es que dentro de sus premisas está en considerar como único medio de conocimiento a la experiencia comprobada o verificada a través de los sentidos; lo que nos dirige a un reduccionismo antropocéntrico atroz. En la actualidad es bien sabido de la existencia de cosas que no pueden ser percibidas por los sentidos, un ejemplo de ello es que, de todo el espectro electromagnético, solo somos capaces de percibir de 380 a 750nm.

Esta tendencia al cientificismo, ha tomado cierta popularidad, en la cual **frases como: "científicamente comprobado", "científicos aseguran", etc.;** son esencialmente cientificistas han permeado en la sociedad contemporánea. Puede ser explicada justamente por el contexto mundial,

día con día salen a la luz noticias de corrupción, mal manejo de recursos, etc. Las sociedades están cansadas de mentiras, hambrientas de verdad para lograr justicia, por ello, es natural que se vea en la ciencia una **alternativa, creemos ingenuamente en su pureza y "objetividad", que, si bien es una de las cualidades deseables para esta, no se cumple en todas las situaciones (ahondaré el argumento en el capítulo dos).**

Aquellos individuos que interpretan la ciencia como nada menos que la **"verdad institucionalizada"**, que ven en ella algo semejante al ideal **cartesiano de "pureza"** o que aceptan abiertamente las normas morales planteadas en el ethos científico (Merton, 1977) verán sin extrañeza en la comunidad de científicos algo especial y digno de emulación. (Stewart, 1983, p.160).

Este análisis de Stewart nos introduce para poder discutir lo problemático del cientificismo, pues este sentimiento de emulación a todo lo relacionado con la ciencia es peligroso, ya que puede ser manipulado para **vender "X" producto, pero esto, aunque grave, acarrea a algo más profundo.** Pensemos en una situación hipotética en la cual se realiza una cumbre para solucionar el problema de la expansión demográfica y se decide que los científicos son los únicos que pueden resolver el problema, algunos podrían decir que es lo más sensato. Sin embargo, estarían en un grave error, si bien la comunidad científica puede aportar estupendas ideas, la solución estaría mutilada pues se dejarían de fuera factores como la cultura, la sociedad y la economía que afectan de manera directa a el problema en cuestión.

1.4 Multidimensionalidad como alternativa.

Entonces tenemos por un lado la percepción unidimensional humanista y por el otro la científicista, afortunadamente hay un camino franco entre ellas, que pasa por el modo multidimensional de entender la ciencia, "que la considera como algo complejo y múltiple, enraizado en los aspectos más profundos y definidores del ser humano". (Fernández, 1998, p.30). Afortunadamente las dimensiones que aquí se desean no son irreconciliables, si bien requieren de una gran voluntad por ambas partes, es posible lograrlo. La humanidad no puede seguir navegando bajo esta bandera de unidimensionalidad. Es urgente dar el salto, comenzar a resolver los problemas multidisciplinariamente, sin duda, los profesores de ciencia deben de empeñarse en por transmitir a los estudiantes la magia de la ciencia. Y eso sólo se puede conseguir a través de su entendimiento multidimensional. (Fernández, 1998). "La educación no es la solución total a este problema: pero sin ella, Occidente ni siquiera puede empezar a abordarlo". (Snow, 1959, p.115). Para que, al egreso, tanto humanistas como científicos, sean plenamente conscientes de lo necesario que es construir mesas de diálogo con la finalidad de resolver los más grandes problemas que atañen a la humanidad.

Probablemente sea demasiado prematuro hablar de una tercera cultura ya existente. Pero hoy estoy convencido de que está llegando. Cuando llegue, por fin se aliviarán algunas de las dificultades de la comunicación: puesto que, para cumplir meramente con su misión, esa cultura tendrá que estar en buenos términos con la científica. Entonces, como ya dije, el punto de mira de este argumento se modificará, en una dirección que será más provechosa para todos. (Snow, 1963, p.132).

Esta tercera cultura, debe lograr un dialogo sobre estos dos sistemas que intentan explicar la realidad. Es momento de darse cuenta que las divisiones no son más que abstracciones creadas por el hombre para facilitar el estudio, pero que en realidad no existen por separado. Un ejemplo claro de esto es la división de la química en orgánica e inorgánica, es un sistema ideado para que puedan darse los cursos en las universidades, pues bien, se sabe que en la realidad esa división es inexistente, los organismos vivos somos un claro ejemplo de ello.

Capítulo 2. La no neutralidad de la ciencia y la tecnología

2.1 *La no neutralidad*

La responsabilidad ética de los científicos en estos últimos años ha sido tema de gran debate, en cuanto a que a ellos se atribuye implicaciones morales que puedan tener sus descubrimientos. Así, de una ética de la responsabilidad individual, se pudiera decir que se debe pasar a una toma de conciencia colectiva y política de la naturaleza y carácter de la ciencia y la tecnología. (Pulido, 2008, p.172)

Existe la falsa creencia más o menos generalizada de que la ciencia es una disciplina neutral, la explicación radica en la construcción histórica de la ciencia. En épocas antiguas la ciencia que se realizaba era la ciencia, que en la actualidad llamamos **"pura"**, ciencia pura según la Real Academia de la Lengua Española (RAE) es el estudio de los fenómenos naturales y otros aspectos del saber por sí mismos, sin tener en cuenta sus aplicaciones. En esta definición conviene detenerse en la **parte final "sin tener en cuenta sus aplicaciones"** con esta frase nos introduce dentro de la delgada línea divisoria entre ciencia y tecnología. Es conveniente comprender que la función de la ciencia no es sólo comprender el mundo, sino también accionar en él; por esto es necesario comprender las diferencias entre ciencia pura, aplicada, tecnología y tecnociencia.

Pero, en la actualidad ¿qué tanta ciencia pura se hace? De todo lo que se investiga en los laboratorios del mundo, ¿**cuánto se hace "solo por el placer de saber"**? es imposible saber una cifra exacta. Sabemos que son los menos pues la mayoría de la ciencia que se hace hoy en día es experimental. ¿Hasta qué punto la ciencia es neutral?

Y ¿Cuáles son los factores que influyen para que se cumpla o no dicha neutralidad?

Siguiendo a Leblont (1975) establece cuatro puntos en relación con la idea de la neutralidad de la ciencia:

1. Los científicos que rechazan la responsabilidad de las consecuencias nefastas de su trabajo reclaman en cambio elogios y reconocimientos por los efectos positivos.
2. La ciencia sería neutra si fuese una forma de conocimiento puro al margen de influencias externas, pero existen multitud de intereses que influyen en las investigaciones.
3. Ni la ciencia escapa a la influencia directa de las condiciones sociales ni los científicos encuentran al margen de la sociedad.
4. La idea de la neutralidad de la ciencia sería cierta si el balance entre posibles beneficios y perjuicios fuera equilibrado, pero las estructuras sociales actuales hacen que los segundos sean más probables. (Pulido , 2008)

Con estos puntos el autor afirma que el conocimiento científico no se produce de manera completamente objetiva porque el contexto social, político, económico y cultural determina la producción científica, sobre todo en nuestra época en la que la mayoría de los trabajos de investigación están bajo financiamiento privado.

Como lo mencioné en el capítulo anterior una de las características deseables de la ciencia sería que esta fuese completa y absolutamente objetiva lo que sería igual a decir que ni las valoraciones éticas del científico, ni sus concepciones previas sobre lo que estudia influyen en su investigación.

Actualmente hay aún quienes defienden dicha posición afirmando que **el conocimiento científico es "neutral" mientras otro sector sostiene** lo contrario que está condicionado por el contexto histórico social del investigador. Empecemos dilucidando hasta qué punto la ciencia puede ser neutral.

Esta neutralidad es influenciada principalmente por dos elementos: **primero el agente que efectúa la investigación y segundo los "benefactores"** de dicha investigación. Para lograr neutralidad en la ciencia los agentes que la ejecutan tendrían que desproveerse de cualquier juicio o valoración sobre el objeto estudiado, es decir, que el investigador debe de abstenerse de hacer juicios de verdad.

Así pues, **tenemos la influencia de los "benefactores" de la** investigación, éstos resultan ser los más peligrosos para mantener la neutralidad de la ciencia, pues el condicionamiento económico desde tiempos remotos ha sido una limitante, como lo hace notar Fernando del Río (1994)

Aunque no se sabe con exactitud el *modus vivendi* de los hombres de ciencia en el pasado, pero por los pocos casos que se conocen unos vivían de enseñar a otros, otros a costillas de algún mecenazgo **institucionalizado, y otros más mantenidos. "Los mantenidos** dependían de la buena voluntad del mantenedor. El capricho, a veces el legítimo interés intelectual, la moda, el prestigio personal o **"nacional": todos ellos movían a los mecenas.** (p.18)

Hoy en día, las cosas no han cambiado demasiado. Los científicos que hacen investigación en las universidades, hasta cierto punto tienen más autonomía para escoger el rumbo de su investigación dependiendo del enfoque del investigador, en el sector privado (que sería el análogo al

“mantenedor”) las cosas son bastante distintas pues los objetivos que se persiguen son principalmente económicos. En última instancia, son éstos los que deciden lo que ocurre cuales resultados, por lo cual el científico está sujeto a la moda y el prestigio.

Esto arroja una cuestión más ¿hasta qué punto el científico puede ser víctima? o ¿ser “víctima” no es más que una posición cómoda para no enfrentar su responsabilidad ética? La imagen del científico desinteresado y al margen de las relaciones de poder no es más que un mito, invocado por aquéllos que no desean asumir sus responsabilidades.

2.2 El miedo a la ruptura de los paradigmas como manifestación de la no neutralidad

Para Kuhn, se empieza a hacer ciencia normal cuando un conjunto de individuos coincide en que cierto paradigma es el mejor para explicar algún **fenómeno, en sus propias palabras “La ciencia normal, la actividad en que, inevitablemente, la mayoría de los científicos consumen casi todo su tiempo, se predica suponiendo que la comunidad científica sabe cómo es el mundo”** (Kuhn, 1962, p.26).

Partiendo de la realidad, no como acuerdo de lo que creemos que existe, sino como lo que existe, aunque el hombre no lo pueda percibir y/o medir, **de ahí los humanos tenemos una “concepción de la realidad” la cual basamos en los sentidos.** Debido a esto suele ser subjetiva e intensamente variable de individuo a individuo, o en sus formas más sofisticadas por medio de instrumentos; luego existen situaciones que no son tan sencillas de comprender y los individuos generan posibles explicaciones, algunas veces con respecto a lo que se cree en el contexto social en la que se genera el cuestionamiento o con pruebas que de cierta forma evidencian que tal cosa sucede de cierto modo; por lo general grupos de personas involucradas en la búsqueda de la explicación del cuestionamiento y se encuentran de

acuerdo con una respuesta que ellos consideran la más cercana a la realidad, según su concepción, generan un paradigma por medio del cual Kuhn nos dice que se empieza a hacer ciencia normal. Es por esto que la neutralidad de la ciencia está directamente afectada por los agentes que la ejecutan, los científicos.

Los científicos realizan experimentos, observaciones que reafirman lo establecido por el paradigma, no obstante al generar estos experimentos en ocasiones se obtienen resultados que no se ajustan al paradigma, ciertas **“anomalías”, lo que primeramente se hace es ignorarlos** hasta que ya no **pueden ser ignorados y se convierten en “crisis”**, una palabra demasiado escandalosa casi de urgencia, que en realidad si uno pone la cabeza fría no habría que llamar a este momento crisis; lo que puede generar que se piense como un peligro es el hecho de que en la mayoría de los casos, ha pasado el tiempo suficiente para que los creadores de paradigma hayan sido sucedido por otros y no se toma en cuenta que el paradigma se creó en un momento específico, con un entorno diferente, con distintas herramientas y el cual no es perfecto sino perfectible ya que este al generarse de cierto es, que no toma en cuenta absolutamente todos los componentes del fenómeno y estas anomalías, más que un peligro, deberían verse como una oportunidad de expansión, refinamiento del conocimiento.

Este cambio no es fácil no solo porque para refutar un paradigma se deben presentar ese tipo de pruebas que caracterizan a las ciencias fácticas, sino que, en ocasiones, aunque existan las pruebas el gremio adherido al paradigma experimenta una especie de reticencia al cambio, claramente justificado ya que esta el latente temor de pensar que para lo que se haya dedicado vidas enteras resulte ser inexacto o hasta incorrecto.

Hay que comprender que hasta ahora no se ha generado otro método **para hacer ciencia que por medio de "ciencia normal" ya que es la manera** en como los humanos estamos acostumbrados a estructurar el conocimiento, en muchas ocasiones se termina modelando los fenómenos para hacer más simple su manejo y en el camino se olvida que en esencia estos están muy lejos de ser simples, y de comportarse como se espera. Lo más apropiado sería dejar esa práctica que casi es una manía de intentar ajustar la realidad a los paradigmas y no a la inversa. Compete a los futuros científicos, entender la importancia de dejar de hacer ciencia normal en estos momentos de coyuntura mundial, en donde es necesario tomar decisiones y acciones para coadyuvar a solucionar los problemas de la humanidad.

Es necesario hacer la distinción entre lo que he descrito como el paradigma Kuhniano, de tipo epistémico, es decir de cómo se genera el conocimiento y de la metodología, por otro lado, tenemos el concepto de paradigma de la *praxis* científica, mencionado por (Echeverría, 2003). Para así poder comprender la relación entre ciencia, tecnología y tecnociencia.

La tecnociencia se distingue de la ciencia por esa mediación tecnológica que resulta inherente a las acciones tecnocientíficas. No basta con una epistemología y una metodología. La filosofía de la ciencia y los estudios sobre la ciencia y la tecnología requieren una praxiología, es decir, una teoría de la praxis tecnocientífica. Las revoluciones tecnocientíficas surgen por un cambio en la estructura de la actividad científica y tecnológica, del que suele derivarse un cambio en la estructura del conocimiento, pero también otras muchas transformaciones: políticas, económicas, organizativas, sociales, etc.
(p.27)

Entonces se puede entender que el concepto paradigma de la praxiología científica, nace debido al cambio estructural en la práctica científica.

2.3 Relación ciencia, tecnología y tecnociencia

Si bien la línea que divide actualmente a la ciencia y a la tecnología es muy estrecha, no se pueden usar como sinónimos. Esto no fue siempre así, del Río (1994) analiza la relación histórica entre la ciencia y la tecnología donde asegura que no es sino hasta el siglo XIX, con la revolución industrial, donde se inicia esta simbiosis. Es aquí cuando se inicia a dar el reconocimiento de la utilidad social de la ciencia y se comienza a pensar que la aplicación de la ciencia y el uso de la tecnología es el camino directo al progreso de las sociedades. El hombre desde su origen, al enfrentarse a las dificultades de la realidad, emprende acciones para hacerla agradable y compatible con sus propósitos, de aquí nacen dos formas para resolver los problemas; el conglomerado de conocimientos que una sociedad posee para la resolución de problemas y el otro, las formas de hacer las cosas para resolver los inconvenientes que se nos presentan en la realidad.

Así Lara (1998) define a la ciencia y a la tecnología como:

La ciencia como sistematización del conocimiento objetivo y los procedimientos para adquirirlo y, por otro, la tecnología como conjunto de conocimientos específicos y procesos para transformar la realidad y resolver algún problema. Estos saberes en un principio fueron independientes uno del otro pues el hombre aprendió a cultivar la tierra y ampliar plantas medicinales milenios antes que conociera los mecanismos biológicos detrás de la agricultura y de las propiedades curativas de las plantas. (p.7)

La RAE define ciencia del lat. *scientia*. Conjunto de conocimientos obtenidos mediante la observación y el razonamiento, sistemáticamente estructurados y de los que se deducen principios y leyes generales con capacidad predictiva y comprobables experimentalmente. Para examinar esta definición me parece preciso acudir al análisis realizado por Pérez Tamayo (2007).

En diferencia con la definición del RAE citada arriba, que identifica a **la ciencia con una "cosa" (conjunto de conocimientos), yo prefiero concebirla como una "actividad", o sea algo que se hace y que requiere** creatividad, por lo que es característico (por no decir específico) de la especie humana, y que resulta en nuevos conocimientos.

La RAE define tecnología del gr. *τεχνολογία* *technología*, de *τεχνολόγος* *technólogos*, de *τέχνη* *téchnē* 'arte' y *λόγος* *lógos* 'tratado'. f. Conjunto de teorías y de técnicas que permiten el aprovechamiento práctico del conocimiento científico.

Me gustaría enfocarme en esta definición para hablar sobre lo que he **llamado 'simbiosis'** ciencia-tecnología. Se hace explícito que la tecnología **"permite el aprovechamiento práctico del conocimiento científico"** y en efecto es así, pero la ciencia está restringida por el desarrollo de la tecnología, un ejemplo es el desarrollo de la química analítica, no podríamos cuantificar trazas de compuestos si no se hubiesen desarrollado tecnologías como los cromatógrafos. Por ello es que podemos hablar de la existencia de una simbiosis epistemológica.

Esta mutua interdependencia implica, entonces, la necesidad de entretejer también las redes conceptuales respectivas, que es lo que se ha venido dando a lo largo del presente siglo cambiándose paulatinamente el significado de los términos utilizados por la

tecnología, en función del auge y decadencia de los diversos enfoques y paradigmas científicos. (Lara, 1998, p. 8).

Resultado de esta simbiosis epistemológica, aunada a la industrialización de la ciencia, nace la denominada tecnociencia. Bruno Latour (1983) es el primero en evocar el término, utilizándolo como una forma práctica de abreviar Ciencia y Tecnología, tal como enuncia Echeverría (2003) no existe una definición precisa de tecnociencia, lo más cercano a una definición es ver a la tecnociencia como: todas aquellas tecnologías vinculadas a la Sociedad de la Información y del Conocimiento (SIC) entendiéndose según Delors (1993) como:

Una forma de desarrollo económico y social en que la adquisición, almacenamiento, transmisión, distribución y la diseminación de la información con vistas a la creación de conocimiento y a la satisfacción de las necesidades de las personas y de las organizaciones, juega un papel central en la actividad económica, en la creación de riqueza y en la definición de calidad de vida y las prácticas culturales de los ciudadanos.

Cabe aclarar, como deja notar (Echeverría , 2003), es necesario dejar en claro la coexistencia de Ciencia, Tecnología y Tecnociencia ya que existe una tendencia a creer que solo existe la última, es conveniente enunciar sus características para así poder diferenciarlas.

Son pocos los estudios al respecto y poco se ha hablado de las revoluciones tecnocientíficas, podemos diferenciar mínimamente dos periodos; el primero entre 1940-1965 el de la *Big Science* (Mega ciencia) que nace en EEUU.

Los cuatro grandes proyectos que consideramos como cánones iniciales de la Gran Ciencia: el Radiation Laboratory de Berkeley, el Radiation Laboratory del M.I.T., el proyecto ENIAC de la Moore School de Pennsylvania y, sobre todo, el Proyecto Manhattan (Los Alamos), auténtico paradigma de la macro ciencia, que condujo a la fabricación de las primeras bombas atómicas. (Echeverría , 2003, p. 13).

Lo que desembocó en el comprensible descontento social culminando en la crisis de la *Big Science* en **1968 con "el mayo del 68"**. Debido a esto la Megaciencia se transforma paulatinamente en lo que hoy conocemos como tecnociencia, los proyectos en los que se embarca pueden ser de magnitudes considerables como lo fue el Proyecto del Genoma Humano (PGH), hasta ejemplos como Microsoft. Para llevar a cabo la *Big Science* es necesario que en una misma institución converjan científicos, ingenieros, tecnólogos, empresarios, políticos y militares. La interacción entre estas disciplinas parecería ser el sueño de Snow (1959) hecho realidad, no obstante, surge un inconveniente, la ciencia tiene objetivos epistémicos claros y por su lado la tecnología tiene claros objetivos pragmáticos, ambos terminan, en la mayoría de los casos, siendo sometidos, convirtiéndose en instrumentos de los objetivos económicos, políticos y militares. Esto nos deja ver que la revolución tecnocientífica no es de tipo epistemológico, porque la ciencia y tecnología no han cambiado mucho su forma de producir conocimiento, sino más bien una revolución de *praxis*.

Los sistemas de valores de las diferentes disciplinas se mezclan. Echeverría (2003) habla de un poliedro axiológico es decir un sistema de valores de la tecnociencia constituido por valores: básicos, epistémicos, técnicos, económicos, militares, jurídicos, políticos, sociales, ecológicos, estéticos, religiosos y morales. El problema es que algunos de estos pueden ser opuestos y contradictorios, lo que genera conflictos de valores, que a su

vez propician debates sociales, pues la tecnociencia al modificar la naturaleza también transforma a la sociedad, lo que hace indispensable la creación de ambientes de comprensión del sistema de valores tecnocientífico **para que esta unión entre "culturas" marche adecuadamente** sin que alguna avasalle a la otra.

Capítulo 3. Incertidumbre y principio precautorio

3.1 *El principio precautorio*

Es indispensable comenzar a generar opciones que propongan soluciones reales, para los problemas que atañen a la humanidad por lo cual, enfatizaremos al PP como una alternativa para comenzar a hacer ciencia de una manera más crítica y dejar de hacer uso de esta como un medio de producción más. No hay mucho tiempo; los niveles de contaminación ambiental han alcanzado puntos críticos. Si seguimos educando a las próximas generaciones unidimensionalmente es muy probable que su futuro sea inhabitable.

Comenzaré con la definición de PP. Aunque no existe una definición oficial es relevante marcar los parámetros entre lo que es y lo que no. Bien entonces utilizaremos la definición brindada por Bello (2012):

El principio precautorio se refiere, en el significado y uso de nuestra lengua, a la norma, criterio o idea fundamental de carácter moral que rige la conducta, con cuidados y atención especiales para prevenir daños, problemas, inconvenientes, peligros y riesgos, con objeto de guardarse de ellos y evitarlos. (p.2)

El PP es un concepto relativamente nuevo, se originó a raíz de los resultados negativos de diversos desarrollos tecnocientíficos del siglo XX, lo que se busca mediante la aplicación de este principio es prevenir daños que puedan suscitarse mediante la utilización de diversos desarrollos tecnocientíficos. El PP se considera una herramienta que nace como alternativa cuando la evidencia científica es insuficiente y poder dilucidar si determinada tecnología es un peligro potencial, pues si la forma en la que estamos haciendo uso de la ciencia y las tecnologías fuera la óptima no habría sido necesario crear dicho principio.

Tickner, et al. (1999) lo explican:

El principio precautorio se origina en el principio alemán de *Vorsorge*, o previsión. En la base de las primeras concepciones de este principio estaba la creencia de que la sociedad debe esforzarse en evitar el daño ambiental mediante una cuidadosa planificación de las acciones futuras, paralizando el flujo de actividades potencialmente dañinas [...] **Una de las mayores expresiones a nivel internacional del principio precautorio** es la Declaración de Río, firmada en 1992 durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, llamada también Agenda 21. La declaración señala: "Para proteger el medioambiente, los Estados, de acuerdo a sus capacidades, aplicarán en toda su extensión el enfoque precautorio. En donde existan amenazas de daños graves o irreversibles no se usará la falta de certeza científica total como razón para posponer la adopción de medidas costo-efectivas para prevenir el deterioro medioambiental." (p.3)

En los 90´s el PP comienza a ser una necesidad debido a que los daños al medio ambiente se manifiestan, en algunos casos de manera alarmante, como fue el caso de la Región de los Grandes Lagos, y algunos científicos empiezan **a percibir que es un "efecto boomerang" que tarde o temprano** alcanza a la humanidad y por ello es de urgencia comenzar a tomar acciones.

Pasados 24 años de la declaración de Río ¿qué tanto podemos decir sobre la implementación del PP? Desafortunadamente muy poco y la muestra está en que el deterioro ambiental no solo continúa, sino que va en aumento, además que son escasos los esfuerzos para el mejoramiento del PP.

Debemos dejar en el pasado prácticas como la evaluación de riesgos, pues se ha comprobado que no funcionan, tal como lo mencionan Tickner et al. (1999)

En vez de preguntar qué nivel de daño es aceptable, un enfoque precautorio pregunta: ¿cuánta contaminación puede evitarse?, ¿cuáles son las alternativas para este producto o actividad?, o incluso ¿es realmente necesaria esta actividad? El principio precautorio se centra más en las opciones y las soluciones que en el riesgo. Obliga a quien inicia una actividad a plantearse cuestiones fundamentales respecto a cómo actuar con mayor sensibilidad medioambiental. El principio precautorio sirve como un amortiguador de velocidad para las nuevas tecnologías, garantizando que las decisiones sobre nuevas actividades se adopten de forma meditada y a la luz de sus consecuencias potenciales. (p.5)

Conviene analizar la pregunta ¿es realmente necesaria esta actividad? En la actualidad miles de laboratorios en el mundo en este preciso momento se encuentran desarrollando nuevos inventos **para el "bien de la humanidad"** pero hasta qué grado podemos decir que tanto son pensados con dicho supuesto y cuantos solo responden a intereses económicos es aquí donde podemos proponer lo siguiente ¿qué desarrollos tecnocientíficos son realmente necesarios?

Pongamos un ejemplo; en toda gran industria farmacéutica hay un área especializada en la síntesis de nuevas moléculas con potenciales terapéuticos. Existe una tendencia de las empresas farmacéuticas por la producción de fármacos muy similares a los que existen en el mercado, solo con la finalidad de generar nuevas patentes y con ello monopolizar el mercado. No obstante, han existido ocasiones en las cuales dichos fármacos

han llegado a generar un padecimiento peor y hasta la muerte de los pacientes como fue en el caso de Vioxx

El 30 de septiembre de 2004 la multinacional Merck & Co. (MSD) retiró su fármaco estrella Vioxx (rofecoxib). Conocido como la *superaspirina*, este medicamento para la artritis, la artrosis y el dolor agudo, multiplicaba al menos por dos el riesgo de infartos de miocardio y cerebrales. [...]el caso, el más grave ocurrido hasta la fecha, ejemplifica a la perfección cómo se han convertido los medicamentos, productos beneficiosos para la humanidad si se utilizan de manera racional, en mercancías, con las nefastas consecuencias que esto provoca. Vioxx fue presentado con una agresiva campaña de marketing como una alternativa a los antiinflamatorios no esteroideos (AINE). [...] **La FDA ha calculado 27,000 casos de infarto y muertes súbitas desde 1999.** [...] **El caso de Vioxx aún muchos de los males** que aquejan al sistema farmacéutico industrial. El fin es el beneficio económico, el lucro, conseguido por cualquier medio. Vioxx ha sido un fármaco revisado por la FDA en sólo seis meses; fabricado aun existiendo alternativas que ahora comprobamos que son mejores; caro y lanzado con una campaña promocional multimillonaria; cuyos anteriores análisis ya apuntaban a las conclusiones que han conducido a su retiro; que ha dejado un rastro de manipulación de la información sobre él y de represión de los científicos disidentes. (Jara, 2007, p.26, 27,29)

Entonces surge el siguiente cuestionamiento: ¿es posible predecir absolutamente todas las consecuencias que pueden llegar a generar los sistemas tecnocientíficos? Las posibles posturas adoptadas para abordar esta cuestión serían; por una parte, tendríamos a los más pesimistas dirán que no, que es completamente imposible, que mientras funcione para lo que

fue creado las consecuencias desfavorables que pudiera estar generando no pueden ser comparadas con los beneficios, (desafortunadamente los beneficios se cuantifican principalmente en términos económicos). En segundo lugar, tendríamos a los que, sostienen que, aunque se realice una adecuada implementación del PP, cabe la probabilidad de que se genere alguna consecuencia, debido a que, hablando en términos termodinámicos, los sistemas tecnocientíficos son sistemas abiertos que intercambian materia y energía con los alrededores. Así pues, cualquier modificación en las cantidades de materia y energía tendrá una reacción, pero a pesar de esto sería más catastrófico no implementar el PP.

Es cierto que casi todas las actividades humanas generan algún impacto sobre los ecosistemas, sin embargo **“la virtud del principio precautorio** consiste en tratar continuamente de reducir nuestros impactos, más que en intentar identificar un nivel de impacto que sea seguro o **aceptable”**. (Tickner et al., 1999, p.27). Es por esto que el enfoque de la evaluación de riesgos es una solución incompleta debido a que:

La evaluación de riesgos está orientada a cuantificar y a analizar los problemas, más que a resolverlos. Sus preguntas se refieren a cuánta contaminación resulta segura o aceptable, con qué problemas estamos dispuestos a vivir, cómo deben distribuirse los recursos limitados. Si bien éstas son interrogantes válidas, excluyen los enfoques más positivos: cómo prevenir la exposición a los riesgos, cómo avanzar hacia alternativas más seguras y más limpias, y cómo involucrar a la sociedad en la identificación, jerarquización e implementación de soluciones. La evaluación de riesgos está diseñada para analizar respuestas lineales. (Tickner et al., 1999, p.22)

La diferencia esencial entre el análisis de riesgo y el PP radica en que el primero solo se encarga de dar respuestas lineales a los problemas, mientras que el PP se enfoca en las soluciones no lineales, entendiendo como ya algunos físicos lo han entendido, que no todo en este mundo puede ser representado mediante sistemas lineales. Cuando el PP aún no se ha implementado la tecnología se encarga de prevenir el riesgo, y cuando ya está generando daños debe encontrar la manera mediante la cual implementaciones sea erradicado, siempre desde un enfoque multidisciplinario. Cabe aclarar que de ninguna manera estoy diciendo que la simple aplicación del PP vaya a solucionar las problemáticas derivadas de la implementación de los sistemas tecnocientíficos. El mensaje que intento plasmar es que, se debe comenzar a aplicar el PP no como dogma, sino como un marco teórico, que debe ser ajustado dependiendo de la situación a resolver.

3.2 El vínculo indisoluble entre el PP y la incertidumbre

Es habitual que las personas al escuchar el término estadística, lo primero que les venga en mente sea: censos y cantidades exorbitantes de números y no se encuentran en un error, pues esta cualidad es inherente a la estadística descriptiva, la cual se basa en la recolección de datos de toda la población en estudio, que tiene como finalidad describir una o más características de ésta. El crecimiento poblacional en las últimas décadas ha obligado a la creación y uso de otro tipo de estadística, la inferencial la cual enfrenta el problema de las grandes poblaciones, con la recolección de datos **de una "muestra representativa"**. Mediante la inferencia se describe a toda la población. Este tipo de estadística tiene inevitablemente algo llamado incertidumbre, que se encuentra directamente influenciada por la manera en que se elige la muestra.

Esta incertidumbre es inherente a cualquier proceso en el que se extienden conclusiones hacia un conjunto mayor que aquel sobre el que se tiene información. El método de razonamiento que nos conduce a esta extensión es conocido como inductivo. Poder inducir (del latín *inducere*) se entiende en lenguaje cotidiano: ascender lógicamente el entendimiento desde el conocimiento de los fenómenos, hechos o casos, a la ley o principio que virtualmente los contiene o que se efectúa en todos ellos uniformemente. (Infante G & Zarate, 2012, p.2)

En el día a día nos encontramos con la necesidad de intentar prever soluciones a problemas de los cuales no contamos con demasiadas certezas. Un ejemplo claro es el pronóstico del tiempo como lo mencionan Evans & Rosenthal (2005)

Estamos obligados a suponer a estimar nuestra posible respuesta. La probabilidad es la ciencia de la incertidumbre. Nos facilita algunas reglas matemáticas precisas que nos permiten comprender y analizar nuestra propia ignorancia. Nos dice el tiempo que hará mañana o el precio de las acciones de la bolsa de la próxima semana, sino que nos proporcionan estructura de razonamiento que nos permite trabajar con nuestros conocimientos limitados y tomar decisiones basadas en lo que sabemos y en lo que desconocemos. (p.19)

Tenemos a la incertidumbre como algo innato a la existencia humana, e intentamos disminuir mediante la aplicación de herramientas estadísticas que si bien, no generan verdades absolutas, si proporcionan aproximaciones a diferentes fenómenos, que con el desarrollo de las tecnologías de la computación cada vez parecen ser más acertadas.

Al momento de la aplicación del PP nos encontramos con la incertidumbre y ésta puede usarse como una oportunidad para desarrollar **nuevas investigaciones**, "el inicio de nuevas líneas de investigación se puede incrementar si se encuentra una alta probabilidad de riesgo en

investigaciones o aplicaciones tecnológicas vigentes” (Alvarado, 2012, p.255) o bien en contra de la aplicación de dicho principio:

La incertidumbre causada por cortinas de humo se refiere a las estrategias de aquellos que provocan los riesgos y tienen interés en ocultar los efectos de una sustancia o una actividad específica. Pueden abstenerse de investigar una situación de riesgo, ocultar información acerca de determinados efectos nocivos o diseñar investigaciones destinadas a crear incertidumbre. Quienes tienen una postura contraria a las reglamentaciones ambientales a menudo utilizan la incertidumbre para tratar de evitarlas. (Tickner et al., 1999, p.19)

Es mediante la generación de este tipo de incertidumbre con la que diversos agentes que ven afectados sus intereses intentan echar abajo las medidas precautorias. Recalco que de ninguna manera quiero plantear al PP como **“la solución” a todos nuestros** problemas relacionados con la aplicación de desarrollos tecnocientíficos, pero si, como muchos otros ya lo han hecho, proponerlo como un inicio para buscar soluciones que se encuentren cargadas de racionalidad. Por ello planteare lo siguiente: ¿la incertidumbre puede verse como una aliada del PP? ¿cómo es que la incertidumbre puede convertirse en la aliada del PP? ¿No es ésta uno de los principales argumentos que utilizan los oponentes al PP? si entre los argumentos que ocupan los enemigos de PP está el decir que no se puede tomar decisiones sobre una alta incertidumbre están en lo correcto, pues de no ser así la ciencia terminaría siendo no más que esoteria. Pero por otro lado debemos comenzar a ser un poco más flexibles en esta cuestión, decidiendo con más criterio en qué situaciones es posible y prudente la aplicación del PP aún con un alto grado de incertidumbre, y la toma de este tipo de decisiones solo podrá ser ejecutada dentro de un ambiente multidisciplinario.

Para exponer la forma en la cual la incertidumbre puede ser una aliada del PP me apoyare de las ideas de Gil & Zarate (2012).

A estas alturas de la discusión cabe preguntar lo siguiente: si este proceso inductivo es característico de todas las disciplinas científicas y aun del razonamiento cotidiano, ¿qué relación especial tiene con la estadística? La respuesta es muy simple [...] el papel de la estadística en este proceso es cuantificar la incertidumbre que es inseparable de las conclusiones obtenida por su intermediación. Esta cuantificación se logra mediante el uso de los conceptos y técnicas de la probabilidad, [...] Ya sea porque se dispone de información incompleta, o debido a la variabilidad presente en la naturaleza, es frecuente que arribemos a conclusiones por medio del método inductivo, en el cual las mismas son inciertas. El conjunto de técnicas que nos permiten hacer inducciones en las que el grado de incertidumbre es cuantificable, integran la estadística inductiva. (p.3).

Así bien podemos utilizar a la estadística inductiva como una herramienta que subsane el problema de la incertidumbre al momento de la aplicación del PP, cabe aclarar que como toda herramienta cuando no se utiliza adecuadamente puede ser catastrófico, y hacer uso de una herramienta adecuadamente implica tener plena conciencia de sus potencialidades y alcances, pero sobre todo de sus limitaciones.

Necesitamos tomar en cuenta lo que sabemos, cómo lo sabemos y los límites al conocimiento. Los defensores del medioambiente y de la salud pública tienen que hacerle preguntas difíciles al sector industrial y a las instituciones reguladoras, a fin de que quede al descubierto la profundidad de nuestra ignorancia. Cuando esto suceda, se verá lo irracional que resulta el exponer inútilmente las vidas humanas y el medioambiente a riesgos cuyos efectos no se conocen. En oposición a esto, las medidas precautorias se verán lógicas. (Tickner et al., 1999, p.21)

Retomare el argumento de los riesgos de la unidimensionalidad pues creo que es importante entender que al momento de resolver problemas ambientales y/o en la salud humana los científicos debemos tener en cuenta que la manera en cómo se abordan los problemas influye en su resolución. Así si lo que se desea generar una solución real, si no somos conscientes que dichos problemas son sistemas complejos y que deben ser abordados multidimensionalmente, el avance a las posibles soluciones será limitado.

Es tonto creer que criterios científicos independientes pueden resolver temas difíciles de relación causa-efecto. De este modo, la decisión respecto de si deben hacerse o no mayores estudios frente a la incertidumbre es una decisión relacionada con políticas específicas y no una decisión científica, tal como lo es también la decisión respecto de tomar medidas preventivas. (Tickner et al., 1999, p.5)

Otro de los argumentos en contra del PP dice que su aplicación limita la investigación científica y por lo tanto el progreso de la humanidad. Se basa en que la prioridad debe ser obtener nuevas tecnologías que generen bienestar en base a la acumulación de riqueza, que de primer lugar es un **"bienestar" superfluo**. Annie Leonard (2010) habla de lo problemático que son la obsolescencia programada y obsolescencia percibida, pues fomenta

conductas de consumo irracional de tecnologías como teléfonos móviles, que si bien han facilitado la vida de las personas, también hay un impacto negativo, en primer lugar por las repercusiones ambientales de los elementos como el coltán (mineral metálico opaco, compuesto por columbita y tantalio, que se utiliza en microelectrónica, telecomunicaciones y en la industria aeroespacial.) segundo: la interacción con estas tecnologías puede provocar trastornos en la salud física y mental de las persona y su forma de relacionarse con sus semejantes. **“Entretanto, la infelicidad se incrementa con el deterioro de nuestras relaciones sociales” (Leonard, 2010, p.209)**

Con el siguiente argumento aspiro convencer al lector de que el PP no es un freno para la investigación científica sino, todo lo contrario.

Suponga usted que es un investigador que desarrolla una tecnología **“X” para** resolver cierto problema y se da cuenta que, en efecto, esta tecnología resolverá el problema en cuestión, pero justo antes de anunciar la buena noticia, al momento de realizar pruebas sobre su inocuidad, se encuentra que tiene alguna consecuencia potencialmente dañina para el ambiente. Usted ha invertido mucho tiempo, y su empresa mucho dinero ¿Qué haría? Alvarado (2012) propone una posible solución: **“el inicio de nuevas líneas de investigación se puede incrementar si se encuentra una alta probabilidad de riesgo en investigaciones aplicaciones tecnológicas vigentes”.** (p. 255) **es** decir, modificar los pasos del método científico. Usted se encuentra frente a una serendipia (profundizare este argumento en el siguiente capítulo)

Para lograr la adecuada aplicación del principio debemos tener en **cuenta: “La puesta en marcha de todas las etapas del PP** -evaluativas, de ponderación, de inferencia y la posible aplicación de medidas- implica análisis, razonamiento, **funciones mentales superiores.”.** (Alvarado, 2012, p. 256)

Así mismo conviene mencionar que el PP debido a su naturaleza crítica, tiene la cualidad de ser percibido de forma negativa o positiva según la objetividad de quién lo reciba, como lo he mencionado en el segundo capítulo lograr la no neutralidad de la ciencia es algo con lo que hay que lidiar cuando se abordan temas que afectan o benefician a intereses encontrados, para lograr que la aplicación del PP sea fructífera es necesario, como hace notar Alvarado (2012) poner en marcha cada una de las etapas **del PP implica un minucioso análisis. "Aplicarlo desde la emoción lo limita y confina"** (Alvarado, 2012, p.256).

Capítulo 4. La evaluación de la evidencia científica como una cuestión ética.

4.1 "El método"

Mientras escribía el capítulo anterior comprendí que era necesario hablar sobre el método científico, pues en éste se basan todas las investigaciones que derivan en desarrollos tecnocientíficos las cuales son blanco de aplicación del PP.

Desde la educación básica nos indican que el método científico es aquel en el cual, en primer lugar, se fórmula una hipótesis luego se experimenta para obtener resultados que bien podrían comprobar y reafirmar la hipótesis o contradecirla lo cual llevaba la reformulación de una hipótesis nueva.

Así cuando el joven estudiante, logra acceder a la educación universitaria y estudia una licenciatura en ciencias, es muy probable que, durante toda su educación, y aun después de que la concluya e inicie su vida laboral, nadie le haga cuestionarse aquella definición del método científico que le brindaron mediante su educación básica. Pero ¿en verdad esto es el método científico? ¿los científicos mientras ejercen su labor se rigen mediante esta receta? y ¿esta receta es aplicable universalmente para todas las ciencias? Para resolver estas interrogantes, desarrollare el siguiente análisis del libro ¿Existe el método científico? Pérez Tamayo (2003)

En la actualidad ya sabemos que no todos los fenómenos naturales son reducibles a expresiones matemáticas, que no todos los hechos que constituyen la realidad son analizables experimentalmente, que no todas las hipótesis válidas pueden confrontarse con la realidad a la que se refieren, que al determinismo y al mecanicismo que prueba que prevalecieron en la física y astronomía de los siglos XVI a XIX deben agregarse ahora los procesos estocásticos, la pluralidad de las

de causas, la organización jerárquica de gran parte de la naturaleza, la emergencia de propiedades no anticipables en sistemas complejos, y otros aspectos más derivados no sólo de las ciencias biológicas sino también de las sociales. (p. 263)

Este comentario, esta principalmente inspirado al hecho que entre los siglos XIX y XX se acuño la idea entre algunos físicos y matemáticos de que **las únicas ciencias "verdaderas"** eran las matemáticas y la física cuyo principal objetivo era lograr explicar la realidad mediante estas dos disciplinas. Lo que ellos no tomaron en cuenta es lo que hoy llamamos sistemas complejos, los cuales generan una visión más global de cómo funciona la naturaleza y que al final si bien algunos fenómenos es posible explicarlos mediante funciones matemáticas y así lograr con ellos aproximaciones extraordinarias, no para todos los fenómenos es aplicable. En la UNAM ya **se cuenta con el "Centro de Ciencias de la Complejidad"** recientemente inaugurado el 3 de noviembre de 2015 el cual se describe así mismo como: **"El C3 es una red multidisciplinaria y una nueva manera de hacer ciencia"** que desde mi punto de vista es un esfuerzo necesario para la ciencia en México.

Pero ¿a dónde quiero ir con todo esto? a dos cosas principalmente, la primera argumentar por qué esta visión reduccionista de la naturaleza no es factible, pues el estudio de los sistemas complejos nos ha demostrado que antes de hacer rotundas aseveraciones hay que tomar cada fenómeno y analizarlo con el mayor número de herramientas disponibles. Tomemos como ejemplo el estudio de los ecosistemas, un sistema complejo por excelencia. Para abordar su estudio por un lado es necesario tomar en cuenta absolutamente todas las interacciones entre los individuos que lo conforman, y la manera de proceder en su estudio, no siempre se puede ejecutar aplicando al pie de letra los pasos dictados por el **"método**

científico". En la actualidad generalmente los científicos generan una hipótesis de acuerdo con el conocimiento previo de la disciplina en particular, pero a veces es necesario primero realizar observaciones que nos ayuden a generar una hipótesis que las explique y luego efectuar experimentos con la intención de comprobar dicha hipótesis, sin mencionar **la alta probabilidad de que se genere "serendipia" en el transcurso de la investigación.**

Con este ejemplo puedo dar paso a otro argumento, que es el de las principales ideas del método científico:

- 1) el método inductivo-deductivo
- 2) el método hipotético-deductivo

El primero está fundado en el principio de que "las generalizaciones permiten hacer predicciones cuya confirmación las refuerza y cuyo fracaso las debilita y puede obligar a modificarlas o hasta rechazarlas" (Tamayo, 2003, p. 253). Mientras el segundo tiene su base en que **"la ciencia se inicia con conceptos no derivados de la experiencia del mundo que está 'ahí afuera', sino por postulados en forma de hipótesis por el investigador, por medio de su intuición" (Tamayo, 2003, p. 254).** Pero ¿siempre el investigador cuenta con un esquema preliminar de la realidad?

Con respecto al método inductivo-deductivo es importante mencionar los postulados del inductivismo sobre los cuales se basa, y menciona Pérez Tamayo (2003).

1. La ciencia inicia con la observación de los hechos.

El principal contra argumento a este postulado es que la investigación científica no siempre se inicia con la observación, porque primero debe decidirse qué hechos se van a observar y de qué manera. Pero ¿sucede así

siempre? en la actualidad la mayoría de los científicos reconocen la existencia de la serendipia que es la excepción a la regla cuando las observaciones hacen necesario construir una hipótesis.

Himsworth (1986) resume de una manera espléndida la manera en cómo los científicos podemos abordar el tema de la observación científica.

Por lo tanto, debemos reconocer que, en la vida real, las observaciones van desde las que son totalmente inesperados hasta las que están completamente de acuerdo con las expectativas. Sin embargo, la mayoría caen entre estos dos extremos. En otras palabras, la observación excepcional es la que lo contiene elementos inesperados y, por lo tanto, no buscados. De hecho, si las cosas no fueran así, no tendría sentido hacer investigación. (Pérez Tamayo, 2003, p.257)

2. La observación científica es confiable

Este postulado es, a mí parecer, el más débil y discutible. Pérez Tamayo (2003) menciona los siguientes tres puntos como los que restringen el otorgamiento de confianza ilimitada a la observación científica:

i) el nivel de desarrollo del campo específico al que se pretende incorporar el nuevo conocimiento, que si es muy primitivo garantiza una vida media muy breve a la información reciente, por la sencilla razón de que muy pronto vendrá otra más precisa o diferente a sustituirla.

ii) la moda científica del momento, un factor muy complejo, pero no por eso menos real, que determina (a veces dolosamente) si la observación reportada se incorpora o no al corpus aceptado oficialmente por el "colegio invisible" relevante. (p. 255).

En el apartado 2.2 señalo como el surgimiento de resultados y/o observaciones que no se ajustan al paradigma en boga, se conciben como **“anomalías” las cuales su acumulación genera las llamadas “crisis” dentro del campo en cuestión y la reticencia de la comunidad adherida al paradigma para modificarlo.**

iii) La existencia del fraude científico que, aunque excepcional, socava la confianza ciega en la observación científica. **Si bien “Es cierto que, cuando hablamos o escribimos, los científicos tenemos el interés común de decir “el menor número posible de mentiras por minuto”. Pero también tenemos conciencia de que nuestras observaciones no son perfectas y que con mejores métodos seguramente las podremos hacer más precisas.” (Tamayo, 2003, p.255).**

En nuestros días cada vez más número de científicos aceptan que las observaciones si bien son necesarias y pueden ser confiables hasta cierto punto, no son inamovibles.

3. El problema de la inducción

David Hume en su libro “Un examen del entendimiento humano” demuestra que la creencia de que con base en experiencias previas es posible utilizar el presente para predecir el futuro es lógicamente insostenible. Esta conclusión afectó en forma grave el pensamiento científico, en vista de que tanto la causalidad como la inducción resultan ser operaciones sin fundamento lógico y ambas son fundamentales para **la ciencia”.** (Tamayo 2003, p.256).

El problema que expone Hume no es trivial, pues si la inducción resulta ser una operación sin fundamento lógico esto nos lleva a que todo lo que en ciencia se haya generado mediante la inducción resultaría incorrecto.

Como lo hace notar Pérez Tamayo (2003)

El problema de la inducción parece centrarse en la posibilidad de que la regularidad de la naturaleza se sospecha; naturalmente todos reconocemos la casi infinita variabilidad del mundo exterior, junto con nuestra inmensa versatilidad interior, pero también tenemos conciencia de que tales oscilaciones ocurren dentro de tolerancia bien definidos. (p.257)

Es decir, existen ciertos fenómenos y procesos a los cuales es posible aplicar la inducción, como el ejemplo que usa Himsworth si lanzamos un objeto hacia arriba, este siempre caerá, a menos que se acabará la fuerza gravitatoria.

Bajo este esquema daré paso a la discusión del método hipotético **deductivo ya que “En este esquema del método científico la inducción no desempeña ningún papel.” (Tamayo, 2003, p.254).**

Himsworth acepta que, en su rechazo de la inducción, la lógica de **Hume es irrefutable, [...] Pero cuando Hume considera que el curso de la naturaleza puede cambiar sólo está tomando en cuenta una de las dos alternativas posibles; la otra es que el curso de la naturaleza no cambie (Tamayo, 2003, p.257)**

Los humanos hemos logrado demostrar a través de la inducción varios fenómenos de la naturaleza, esto no implica que en algún momento no sea posible que cambien, pero si la probabilidad de que esto ocurra es baja, más no descartable. El ejemplo típico **para entenderlo es la “paradoja del Cisne Negro”**, antes del siglo XVI, en Europa, decir que algo era como un cisne negro era sinónimo de imposibilidad. Todo cambió cuando el holandés Willem Hesselsz de Vlamingh, en 1697, observo un cisne negro en Australia.

El término se transformó para denotar que algo considerado como una imposibilidad tiene la posibilidad de ser refutada. (Acosta, 2012).

Lo cierto es que en la vida pasan las dos cosas, el curso de la naturaleza puede o no cambiar, el problema aquí es decidir en qué momento no cambia para poder aplicar la inducción sin remordimientos. De cierto es, que algunas circunstancias serán más fáciles de discernir que otras, lo más conveniente es tomar en cuenta que al momento de usar la inducción como un recurso epistemológico, siempre cabe la posibilidad de que aparezcan Cisnes Negros.

Una vez desglosado esto, es importante retomar la pregunta ¿existe un método científico? Espero que mediante el desarrollo de este capítulo haya podido dejar claro que en la actualidad no podemos hablar de un único método científico universal, lo que en la práctica sucede es en realidad una mezcla de ambos del inductivo-deductivo y el hipotético-deductivo, si bien hay ocasiones en las que cuenta con un esquema preliminar de la realidad mediante el cual puede echar a andar la hipótesis, en algunas ocasiones las observaciones son las que determinan la construcción de la hipótesis.

En palabras de Infante et al. (2012)

El método científico es un proceso mediante el cual se obtienen conocimientos para acrecentar el acervo de una disciplina científica. Los aspectos más importantes del método son: formulación de hipótesis, obtención de datos pertinentes al problema y confrontación de los datos con las consecuencias de nuestra(s) hipótesis. Las técnicas estadísticas juegan un papel muy destacado en los tres aspectos del método científico. (p. 5)

4.2 *La evidencia científica*

Una vez analizada la manera de cómo se aplica el método científico, es indispensable hablar de la evidencia científica como el principal producto de la aplicación del método científico entonces ¿qué es lo que entendemos como evidencia científica?

En la actualidad existe una tendencia generalizada de las sociedades occidentales a creer ciegamente en lo que como principio lleva incrustada la frase **“científicamente comprobado”** lo cual es de sumo cuidado, pues como he expresado en el capítulo dos, aunque la ciencia se esfuerce en ser **“neutra”** carece de esta cualidad, ya que es influenciada por los intereses económicos de empresas, gobiernos y hasta del mismo investigador.

Los medios masivos de comunicación, mediante el uso de títulos tales como: **“científicos descubren...”**, **“científicamente comprobado que...”** lo peligroso de estas frases radica en que, el simple hecho de contener alguna de las siguientes palabras: ciencia, científicos, las personas que no cuentan con estudios en el área tienden a tomar dichas aseveraciones como verdaderas, de ahí nace la importancia de destacar el tema de la evidencia científica como una cuestión ética.

Realizare un análisis del concepto de evidencia científica comentando lo que plantea Godfrey Guillaumin (2005) mediante un estudio histórico del concepto de evidencia, plantea en primer lugar a la evidencia científica no como un solo concepto único e irrevocable, sino como la mezcla de los tres tipos de evidencia: la observacional, la inductiva/probable y la probatoria **“cuando los tres conceptos de evidencia se formulan sólidamente, la disciplina en cuestión se robustece”** (p.252).

No se puede dejar de lado que la evidencia se encuentra influenciada por el contexto histórico y de las metodologías e instrumentaciones al alcance en la época. Guillaumin analiza lo sucedido durante el siglo XVII. En estos años hay un cambio radical con lo que respecta a la manera de concebir la evidencia científica. Gradualmente se abandona la pretensión de que la experiencia común sea una fuente confiable de información.

Durante **el siglo XVII el ideal de conocimiento demostrativo se “monta”** no sobre una base de observaciones ordinarias, sino sobre observaciones tomadas de instrumentos en permanente mejoramiento y ampliación; lo que permitió el desarrollo de un nuevo sentido de evidencia observacional, que consistía en la permanente mejora de instrumentos con su consecuente descubrimiento de nuevos fenómenos. (Guillaumin, 2005, p.254)

El caso de Molina y su colega Rowland servirá como ejemplo demostrativo de la forma en como el mejoramiento de técnicas e instrumentos permiten el desarrollo de evidencia. A principios de los setentas se encontraron con que los clorofluorocarbonos (CFC) podrían estar generando daños irreparables en la capa de ozono. El dilema grave era que Molina y Rowland no contaban con la evidencia suficiente, pero de no actuar y si su hipótesis resultaba ser cierta, al momento en que ellos pudiesen contar con toda la evidencia quizá ya sería demasiado tarde; el final de la historia todos lo sabemos. Molina y Rowland publicaron en 1974 el artículo con su hipótesis en *Nature*, y al mismo tiempo iniciaron acciones tendientes a lograr la disminución y finalmente la prohibición de la producción de **clorofluorocarbonos**. **“La evidencia que a juicio de la comunidad científica** apoyó definitivamente la hipótesis no se dio hasta 11 años después de 1985, pero ya antes se habían comenzado a tomar algunas medidas preventivas.

[..] En 1995 Molina y Rowland **recibieron el Premio Nobel de Química**". (Olivé, 2011, pp.55,56)

La situación que enfrentaron Molina y Rowland es particular pues ejemplifica:

a) una situación en la cual se logró la aplicación de PP (y vaya que fue bueno, porque si no hubiese sido así quizá yo no estaría ahora escribiendo esto y ni usted leyéndolo).

b) **"Y, por otro lado, que hay situaciones en las que los científicos y tecnólogos tienen responsabilidades morales *por su mismo carácter de científicos o tecnólogos*"** (Olivé, 2011, p.56) tema que abordaré en el siguiente capítulo.

c) La importancia de que los científicos tomen partido como **"especialistas" en las decisiones políticas de la sociedad para evitar que distintos intereses hagan uso de la incertidumbre como un distractor de foco.** Retomando el argumento de la incertidumbre, ésta puede constituir una fuente de poder para los organismos gubernamentales y para la **industria. "La incertidumbre puede utilizarse para decir que aún no sabemos lo suficiente, y que por lo tanto sería irracional tomar medidas, o que éstas no tendrían otro respaldo que una ciencia de pacotilla"** (Tickner et al., 1999, p.21).

d) La importancia de contemplar que la evidencia científica como antes mencioné, a veces puede ser insuficiente en el contexto debido a sus limitaciones intrínsecas.

Establecer cuáles son los criterios de evidencia, no es un asunto fijo ni general, como tampoco meramente contextual, sino que depende de la manera en que los problemas empíricos, conceptuales o metodológico de un contexto específico de investigación se vayan

modificando a través de su historia y vayan modificando estándares **de evidencia observacional, inductiva o probatoria.**" (Guillaumin, 2005, pp.250-251).

Al final Molina y Rowland con respecto a la manera en como manejaron la evidencia con la que contaban se puede decir que aplicaron los tres tipos, primero la evidencia observacional e inductiva probable, y once años más tarde con el desarrollo de la tecnología logró la evidencia probatoria.

En el caso de muchos temas susceptibles a la aplicación del PP como, por ejemplo: El uso de organismos genéticamente modificados (OGM), las afectaciones causadas por el uso indiscriminado de antibióticos, lo que debemos tomar en cuenta al momento de intentar dar soluciones a dichas discusiones es lo mencionado por Guillaumin (2005).

Dentro de algunas discusiones de la filosofía de la ciencia actual, se plantea el caso de que en la medida en que cada teoría tiene teorías rivales empíricamente equivalentes, no podemos elegir entre ellas a partir de la evidencia disponible con lo cual es necesario utilizar criterios no epistémicos para la elección. (p.255)

Pues ni gobiernos, empresas ni científicos deben olvidar que la manera en cómo se obtiene la evidencia científica pues lejos de ser absoluta es perfectible. "La indeterminación en la elección de teorías no es un asunto sin solución en el desarrollo histórico de las teorías, y es mediante la evolución de los diferentes criterios de evidencia que las elecciones de teorías son racionales". (p.256)

Así como en el siglo XVII se necesitó una reformulación de una nueva noción de evidencia probatoria que respondió en gran parte a la reformulación de elementos normativos de investigación del mundo. Hoy es necesario hacer una revaloración de la misma.

Para hacer un buen manejo del método científico no podemos sesgar la investigación a un solo tipo de evidencia y si es posible en el contexto hacer uso de las tres conocidas hasta hoy (observacional, inductiva/probable y probatoria).

En la próxima sección abordaré el uso de técnicas estadísticas para: lograr una buena relación entre la evidencia científica y la inducción del método científico y usar dichas técnicas en favor de un mejoramiento en la aplicación del pp.

4.3 El uso técnicas estadísticas para lograr una adecuada aplicación del PP.
Infante et al. (2012) en el libro "Estadística. Un enfoque interdisciplinario" se describe el papel de la estadística en diferentes aspectos del "método científico"

a) Formulación de la hipótesis: En algunas ocasiones las técnicas de la Estadística Descriptiva pueden sugerir hipótesis apropiadas.

b) Obtención de datos: en este aspecto el papel de la Estadística es crucial. Se trata de adquirir información de manera que: 1) la información sea relevante al problema y 2) las conclusiones que de ella se extraigan tengan cierto grado de confiabilidad. [...] Las ramas de la Estadística que tratan estos problemas reciben el nombre de Diseño de Experimentos y Muestreo Estadístico.

c) Confrontación de la información obtenida con las consecuencias de las hipótesis postuladas: Puesto que la información será incompleta o reflejará la variabilidad del fenómeno que se observa, la generalización irá acompañada de un grado de incertidumbre que es cuantificable mediante principios probabilísticos. Estamos, pues, en el área de interés de la Inferencia Estadística o Estadística Inductiva.
(p.4)

Esto hace evidente que, “en cualquier investigación científica, los razonamientos deductivo e inductivo se encuentran indisolublemente ligados, interactuando el uno sobre el otro”. (Infante et al., 2012, p.4)

Los científicos al comenzar una investigación deberían tener presente que todos los problemas tienen particularidades que deben estudiarse antes de que se adopten los métodos más efectivos para resolverlos. Por consecuencia cada problema nuevo deberá ser tratado por sí mismo y con cierta cautela (Box et al., 2001).

Box y Hunter (2001) plantean cuatro parámetros que un investigador debería tomar en cuenta para poder aplicar técnicas estadísticas a favor de su investigación.

1. Averiguar cuanto se pueda sobre el problema

Preguntas como: “¿Cuál es el objeto de la investigación?, ¿Cuánto se conoce de este fenómeno?” (p.14). Este par de preguntas podría parecer triviales, pero no lo son pues ocurre que muchas veces los investigadores hacen tan específica su investigación que termina aislándola de la realidad de la cual fue extraída.

2. No olvidar el conocimiento no estadístico

A lo que refiere esta premisa es que un investigador mientras hace uso de alguna técnica estadística, no debe olvidar cada una de las particularidades de su investigación, las técnicas estadísticas son más efectivas cuando se combinan con el apropiado conocimiento del tema a que se aplican. Los métodos son una ayuda importante, no un sustituto de la destreza natural del investigador. (p.15)

3. Definición de los objetivos

Inconsciente, o conscientemente los investigadores siguen el “método” a través del cual recibieron su instrucción universitaria, generalmente el hipotético deductivo, el cual involucra el planteamiento de objetivos específicos, para la mayoría de los investigadores y estudiantes puede parecer una operación trivial. No obstante, es impresionante la poca atención que se le presta a este momento de la investigación pues el no definir los objetivos conscientemente conlleva al desastre. Box et al., (2001) proponen cuatro elementos a considerar para lograr una adecuada definición de objetivos en una investigación:

- (1) definir claramente los objetivos del estudio que se va llevar a cabo;
- (2) asegurarse de que todos los interesados en el estudio están de acuerdo con esos objetivos;
- (3) están de acuerdo con los criterios que determinarán que los objetivos se han alcanzado, y
- (4) tener previsto que, si los objetivos cambian, todas las partes interesadas lo conozcan y se pongan de acuerdo en los nuevos objetivos y criterios. (p. 15)

4. Aprender unos de otros: Interacción de la teoría con la práctica

En el capítulo uno dedico la sección 1.4 a hablar de la multidimensionalidad como una alternativa para generar conocimiento científico más aproximado a la realidad, la necesidad que en este momento la humanidad realice el salto de la unidimensionalidad a la multidimensionalidad. Es decir, crear una red entre las disciplinas para así lograr el estudio de los sistemas complejos que conforman nuestro Universo y lograr hacer frente a las propiedades no anticipables de dichos sistemas, para generar esta red, es necesaria una buena comunicación interdisciplinaria. La inducción de la realidad propia de sistemas complejos

es muy difícil. Aunada la existencia de errores experimentales hace la tarea aún más difícil.

Bajo estas circunstancias lo mejor que puede hacer un investigador es hacer uso de todos los recursos a su alcance.

La convergencia hacia el resultado se producirá más rápidamente y con más seguridad si se dispone de:

1. Métodos eficientes de diseño de experimentos, que le permita obtener respuestas a sus preguntas que salgan lo menos ambiguas y lo menos afectadas posible por los errores experimentales.
2. Análisis de sensibilidad de los datos, que indique lo que puede deducirse razonablemente de la hipótesis en vigor y de pie a nuevas ideas a considerar.

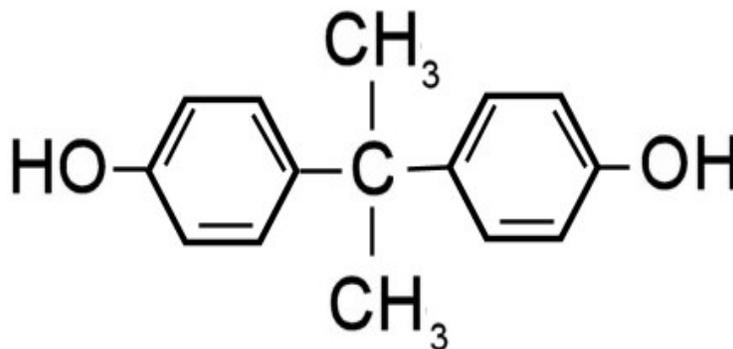
De estos dos recursos el diseño del experimento es el más importante si el diseño experimental está mal elegido, de modo que los datos resultantes no contengan mucha información, poco se podrá extraer por muy detallados sofisticados el análisis. (Box et al., 2001, p. 7)

Para concluir el argumento en como la aplicación de técnicas estadísticas puede ayudar a la aplicación del PP cito a (Box et al., 2001) **“La investigación científica es un proceso de aprendizaje dirigido. El objeto de los métodos estadísticos es hacer que ese proceso sea lo más eficiente posible”**. (p.1) En otras palabras, si comenzamos a introducir la adecuada utilización de las técnicas estadísticas que hoy en día tenemos a nuestro alcance, para con ello cooperar para disminuir la incertidumbre al momento de aplicar el PP, podemos comenzar a hacer de éste una realidad.

Capítulo 5. El Bisfenol A, [BPA] **4,4'**-[propano-2,2-diil] difenol como estudio de caso de ética en química y un argumento en favor de la precaución.

Alguna vez se ha preguntado por qué a lo largo de la historia se han visto tantos casos en los cuales sustancias químicas que fueron producidas para cierto fin, a pesar de que cumplen con él, en muchas ocasiones, pasado un tiempo, se comienzan a encontrar situaciones en las cuales se ve afectada la salud de los ecosistemas, por ejemplo: la talidomida, fertilizantes organofosforados, fluorocarbonos y los OGM, solo por mencionar algunos de los más conocidos. Esto debería hacer plantearnos el hecho de que los "filtros" que empleamos antes de introducir estas tecnologías no está siendo los adecuados. Es necesario modificarlos, como lo menciono en el tercer capítulo una posible alternativa es la que brinda el PP, en esencia es como lo manifiesta este conocido dicho: "más vale prevenir que lamentar". Para ejemplificar este tipo de circunstancias, en donde es factible la aplicación del PP, he elegido al 4,4'-(propano-2,2-diil) difenol, conocido comúnmente como Bisfenol A o BPA (Fig. 1) debido a que se encuentra envuelto a últimas fechas en discusión sobre sus efectos en el sistema endocrino.

Fig.1 Bisfenol A (BPA) 4,4'-(propano-2,2-diil) difenol



5.1 Generalidades del BPA

El BPA es un intermediario que es usado como monómero esencial en la fabricación de plásticos de policarbonato, poliésteres y producción de resinas epoxi (Plastics Europe, 2014). Se calcula que la producción mundial de bisfenol A en 2003 fue de más de 2 millones de toneladas. (Lang et al., 2008). En Estados Unidos, es fabricado por Bayer Material Science (División de Bayer), Dow Chemical Company, GE Plastics, Hexion Speciality Chemicals y Sunoco Chemicals. En 2004, estas compañías produjeron más de 1 millón de toneladas de bisfenol A, comparado con apenas 7260 toneladas en 1991. En 2003, el consumo anual de EE. UU. fue de 856 mil toneladas, de las cuales el 72 % se usó para plástico de policarbonato y un 21 % para resinas epoxi, datos del National Toxicology Program, U.S. Department of Health and Human Services (26 de noviembre de 2007).

Es un compuesto químico orgánico que se obtiene por la condensación de un fenol y una acetona catalizada por un ácido o un compuesto alcalino (Fig.2) (Kang et al., 2006). Su solubilidad en agua es 300 mg/L, es un compuesto lipofílico con un coeficiente de reparto octanol/agua ($\log K_{ow}$) = 3.3 (PubChem, 2017)

El grado de absorción de estos compuestos es generalmente, en ausencia de interacciones específicas, inversamente proporcional a su solubilidad en agua, a su carácter hidrofóbico. El n-octanol (nomenclatura = O) es un compuesto orgánico, que remeda adecuadamente el material lipídico de la biota y el material orgánico presente en partículas y sedimentos, por lo que el coeficiente de partición de un compuesto *i* en el sistema bifásico n-octanol-agua es una buena medida de su hidrofobicidad. (Figueruelo et al., 2004, p. 242).

Tomando en cuenta esta propiedad, según la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) lo que lo hace una sustancia con potencial bioacumulable.

La bioacumulación es un término utilizado para describir el proceso de acumulación neta, con el paso del tiempo, de sustancias químicas (metales o sustancias persistentes) en organismos vivos de forma que estos alcanzan concentraciones más elevadas a las concentraciones necesarias para su vida, a partir de fuentes tanto bióticas (otros organismos) como abióticas (suelo, aire y agua) (Gómez, 2009).

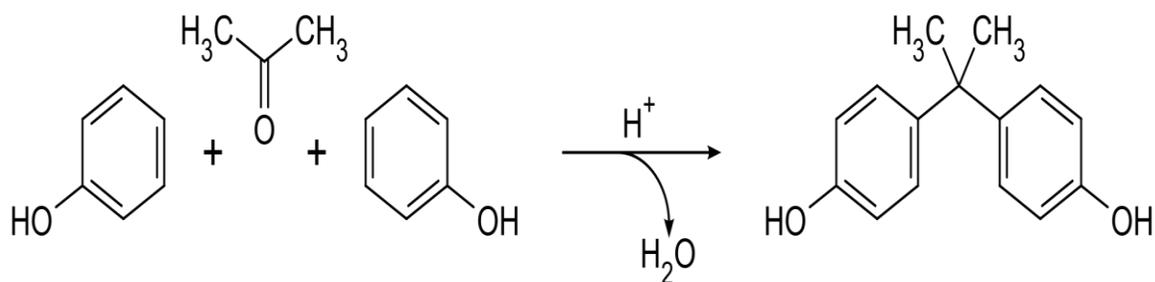


Fig. 2 Síntesis de BPA

Tabla 1. Propiedades físicas y químicas que hacen riesgosas a las sustancias

Propiedades	Ejemplos de Implicaciones
Solubilidad en agua >500mg/l	Peligro de movilización en suelos, contaminación de acuíferos u acumulación en ecosistemas acuáticos.
Presión de vapor >10-3mm	Peligro de volatilización y difusión atmosférica.
Persistencia mayor a seis meses reteniendo sus características físicas, químicas y toxicológicas	Peligro de acumulación en los diferentes medios ambientales y de bioacumulación.
Coefficiente de reparto octanol/agua (Log K _{ow}) > 1	Peligro de absorción a través de membranas celulares y acumulación en tejido adiposo.

Fuente: semarnat.gob.mx

5.1.1 Biotransformación del BPA

La principal ruta de absorción del BPA es la vía oral (Kang et al., 2006). El ser humano tiene la capacidad de biotransformarlo eficientemente en sus derivados toxicológicamente inactivos, por lo que es muy difícil su acumulación después de la ingestión (Pritchett et al, 2002).

Tras la ingesta el BPA es absorbido y biotransformado a través de dos vías (Fig. 3), una de ellas, en mayor proporción, es la forma hidrosoluble, BPA-glucoronido (BPAG) (Lim et al., 2009). El principal sitio de conjugación de ésta se da en el hígado por la enzima uridina difosfato glucosiltransferasa (UGT). La segunda vía de Biotransformación ocurre en menor proporción, mediante el BPA-sulfato (Vandenberg et al., 2007). Esta ruta es llevada a cabo por sulfotransferasas en el hígado, donde la sulfatación reduce drásticamente la absorción de BPA y su actividad al receptor de estrógeno (Snyder et al., 2000). Sin embargo, esta sulfatación del BPA es reversible, por lo que no garantiza la inactivación del BPA por esta vía (Stowell et al., 2006). En el ser humano la excreción de BPA hidrosoluble se da vía heces y orina, con un tiempo de eliminación menor a 6 h (Lang et al., 2008).

Sin embargo, estudios realizados en seres humanos han demostrado que el BPA libre estaría presente en la sangre humana, uniéndose a la albúmina y ejerciendo un efecto estrogénico (Shaw, 2009).

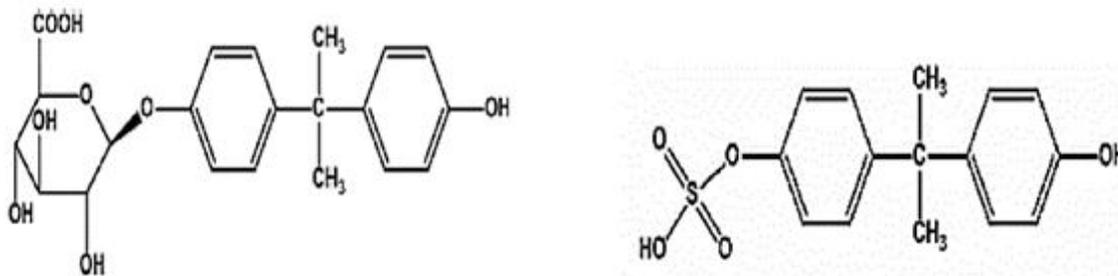


Fig. 3 Formas Glucoronada (izq.). Sulfatada (der) del BPA

5.2 Problemática entorno al BPA

5.2.1 Toxicidad del BPA como disruptor endocrino

Se ha publicado un grandísimo número de estudios sobre la toxicidad y la actividad endocrina del BPA en animales. Algunos de estos estudios se han elaborado de conformidad con directrices normativas o de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), utilizando la administración oral, grandes grupos de animales y grupos de dosis. (OMS-FAO, 2009). Como menciona Martínez Peña (2014) los disruptores endócrinos son sustancias químicas, naturales o artificiales, exógenas al organismo, que tienen la capacidad de alterar la homeostasis de los sistemas endócrino y reproductivo mimetizando la acción de hormonas naturales, como el estradiol, en tejidos hormono dependientes y hormono sensibles y que por tanto son responsables de diversas anomalías reproductivas (Nava et al., 2008).

5.2.1.1 Mecanismo y modo de acción

Conocer los mecanismos de acción de los diferentes disruptores endocrinos es prioritario para lograr mejores predicciones de los posibles efectos. La acción de mimetizar o antagonizar la acción hormonal se produce a distintos niveles:

Nivel periférico: modificando la biosíntesis, el transporte o el metabolismo de los esteroides induciendo enzimas de la familia CYP2B y CYP3A.

Nivel de los órganos blanco: activando o inhibiendo los receptores, afectando la actividad transcripcional de los mismos, inhibiendo la actividad histona acetilasa, estimulando la quinasa mitogénica o afectando a lo ancho del genoma el estado de metilación del ADN. (Scaglia et., al 2009, p.78).

Los mecanismos de actuación de los disruptores endocrinos estudiados hasta la fecha son:

- Mimetizar la acción de las hormonas, por ejemplo, los que actúan como estrógenos se denominan estrógenos ambientales, entre estos se encuentran el DDT, algunos PCBs y muchos fitoestrógenos.
- Antagonizar la acción de las hormonas, por ejemplo, los anti estrógenos.
- Alterar su patrón y metabolismo.
- Modular los niveles de los receptores correspondientes. (Moreno, E. Y Nuñez, A., 2012, p.3)

En el caso específico del BPA es capaz de modular los niveles de los receptores correspondientes, interfiere en el receptor estrogénico. (Tabla.2) (Romano, 2012).

Tabla. 2 Mecanismos de acción de algunos disruptores endocrinos y algunos ejemplos de sus efectos sobre la salud.

Sustancia química	Uso	Acción EDC	Efectos sobre la salud
Atrazina	Herbicida	Incremento expresión aromatasa	Diferenciación y desarrollo sexual masculino
Bisfenol A (BPA)	Resinas epoxi, papel térmico, envases alimentos	Se una al ER, mER, ERR, PPAR, puede formar uniones débiles con el receptor de la TH y AR	Función y desarrollo de la próstata, la mama, el cerebro, sistemas reproductor e inmune, metabolismo.
Clorpirifós	Insecticida	Antiandrogénico	Alteración del receptor de la acetilcolina (cerebro)
Dioxinas cloradas (TCDD)	Contaminante generado durante procesos industriales y de combustión con presencia de cloro (Ej. Incineración de residuos)	Se une a AhR	Estrés oxidativo. Alteraciones de la espermatogénesis, la función inmune y del desarrollo dental y óseo, de la reproducción femenina, de la glándula mamaria y de la conducta
Metoxicloro	Insecticida	Fija el ER	Sistema inmune
Alcanfor 4-metilbencillideno (4-MBC)	Pantalla UV	Débilmente estrogénico	Conducta sexual
Metil parabeno	Conservante	Estrogénico	Organización del tejido uterino
Nonilfenol	Detergentes	Débilmente estrogénico	Metabolismo de la testosterona
PCBs180	Lubricante industrial, refrigerante.	Alteración de la ruta del glutamato. Mimetiza el estrógeno	Diabetes (humanos)
Perclorato	Carburantes, fuegos artificiales	Bloquea la captación de yodo, altera la TH	Concentraciones de TSH (humanos)
Óxido de tibutilestaño	Pesticidas, conservación de madera	Fija el PPAR	Obesidad
Triclosan	Agente bactericida	Efectos antitiroideos, actividad androgénica y estrogénica	Alteración de la respuesta uterina al etenilestradiol

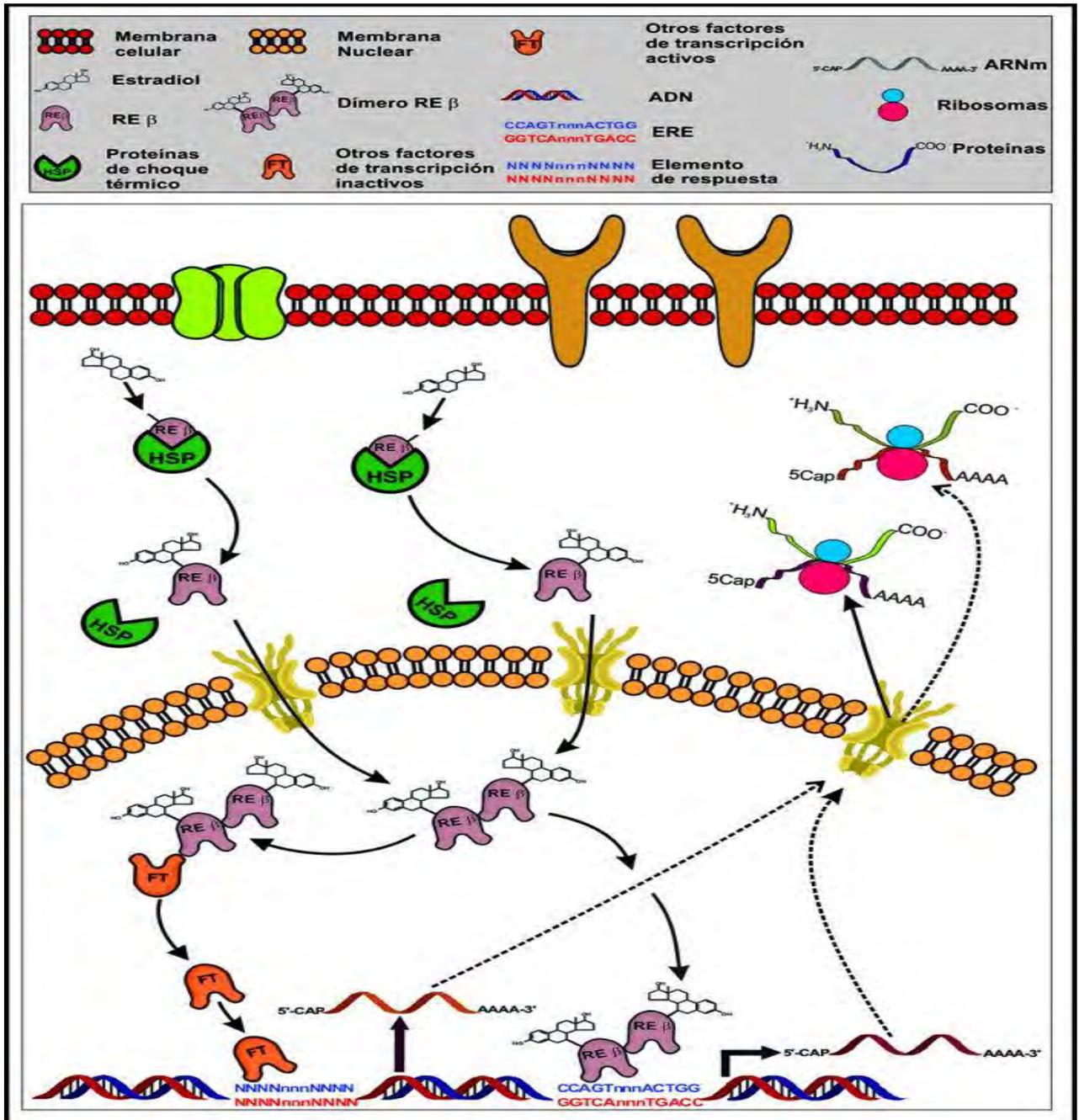
Fuente: (Romano, 2012)

En la Fig. 4, se ejemplifica el mecanismo de acción del estradiol en el receptor de estrógeno (RE), si el BPA se une al RE tal como lo menciona Romano (2012) probablemente el mecanismo mediante el cual actúa el BPA sea semejante.

Los receptores de andrógenos (RA) y de estradiol (RE) son miembros de una superfamilia de receptores nucleares de tipo 1, junto con los de glucocorticoides, progesterona y hormonas tiroideas [...] los RA y RE existen en condiciones basales como complejos citoplasmáticos inactivos formados con asociación de proteínas de choque térmico (HSPs). (Scaglia et., al, 2009, p.76).

Funcionalmente estos receptores constituyen un grupo de factores de transcripción que regulan la expresión genética en diversos procesos fisiológicos. (Zhou, et. al., 1995).

Fig. 4 Mecanismo de acción del receptor de Estrógeno.



ER, receptor de estrógeno; mER, membrana-asociada al ER; AR, Receptor de andrógeno; ERR, Receptor relacionado a estrógeno; PPAR, Receptor activado por proliferador de peroxisoma, PRGR, receptor de progesterona; RXR, receptor retinoide X; TH, hormona tiroidea; TRE, elemento de respuesta tiroidea. Fuente: www.uv.mx

5.2.2 Dosis y efectos

Las dosis tóxicas reportadas para el BPA se encuentran reportadas en la Tabla 3; la dificultad para tomar estos valores de referencia radica en que, si consideramos los efectos del BPA como disruptor endocrino, éstos tienen la particularidad de que ocasionan efectos a niveles extremadamente bajos en el límite de la capacidad de análisis. La medición de estos niveles exige equipos de análisis sofisticados que imposibilita en la práctica un control efectivo de niveles en los lugares de exposición.

Tabla. 3 Estimación de BPA por la exposición alimentaria

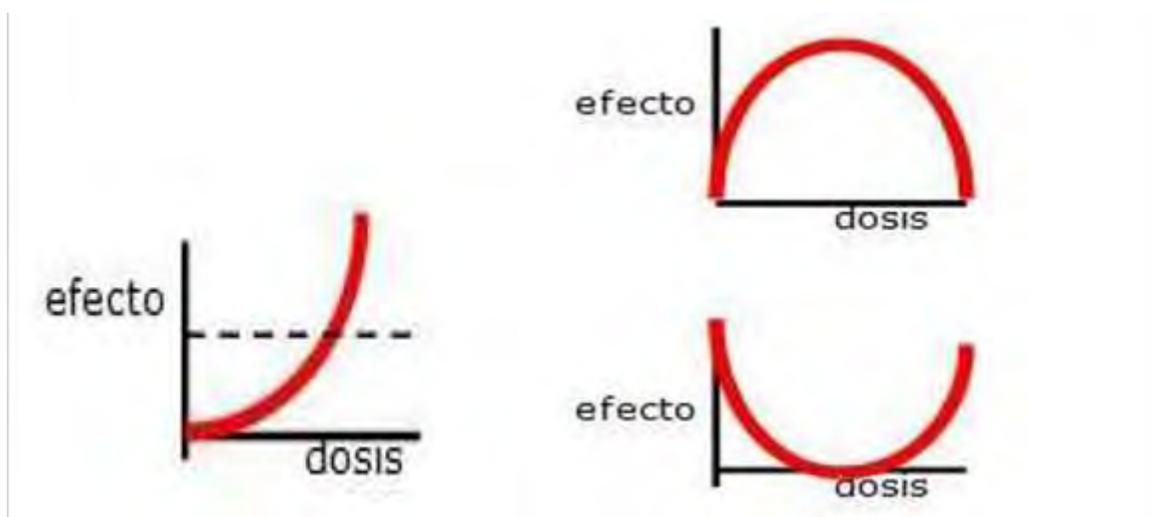
Región	Grupo de población	Promedio de exposición ($\mu\text{g}/\text{kg p.c} \cdot \text{día}$)	Referencia
Europa	Adulto Adulto 60 kg Niños 8.8 kg Infantes 0-4 meses, 4.5 kg	1.000 0.370 0.850hom 1.600	Bolt et al., 2001 EC, 2002 EU, 2003
Nueva Zelanda	Adultos 75 kg	0.008	Thomson and Grounds, 2005
Estados Unidos	Adultos 75 kg Niños 1-5 años 17 kg	0.084 0.120	NAP, 1999 Wilson et al., 2009
Bisfenol A Ingesta Diaria Tolerable (TDI): $4\mu\text{g}/\text{kg p.c} \cdot \text{día}$ Bisfenol A Ingesta Diaria Tolerable (TDI): $10\mu\text{g}/\text{kg p.c} \cdot \text{día}$ Dosis de referencia: $50\mu\text{g}/\text{kg p.c} \cdot \text{día}$			EFESA, 2015 EC, 2002 EPA, 1993

Fuente: (Bautista, 2016)

La evaluación de riesgo se basa en la asunción de que a mayor dosis de exposición mayor riesgo, suponiendo una respuesta tóxica en forma de curva monótonica y que existe un límite por debajo del cual no existe riesgo (Moreno et al., 2012).

No obstante, los disruptores endócrinos pueden no tener límites sin efecto (Moreno et al., 2012). Tal como menciona Gonzáles, (2016) los disruptores endócrinos no presentan un patrón lineal (a mayor dosis, mayor efecto negativo) sino que presentan curvas de toxicidad cuadráticas de forma que a concentraciones bajas pueden observarse efectos tóxicos no observables a dosis más altas o viceversa (Shaw, 2009).

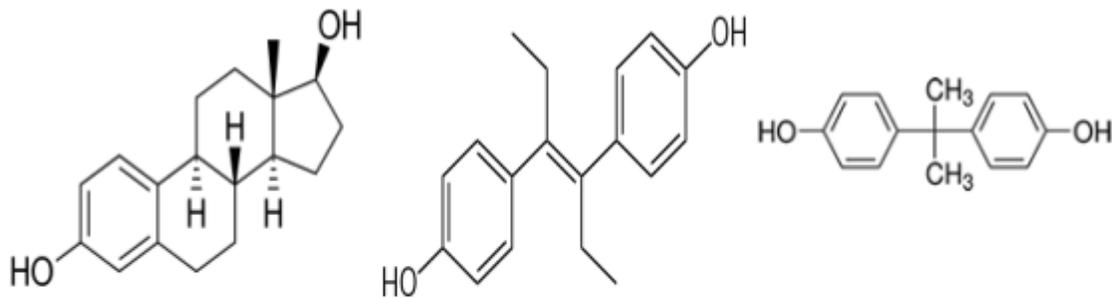
Fig. 5 Comparación de curvas dosis respuesta izquierda curva con comportamiento lineal, derecha curva con comportamiento cuadrático como las que presentan los disruptores endócrinos. Tomada de Moreno, E. Y Núñez, A. (2012)



Bisfenol A fue sintetizado por Dodds, quien demostró en 1936 que éste era estrogénico. En los primeros años de investigación de la hormona fue muy difícil aislar la hormona esteroidea real, entonces los químicos elaboraron análogos sintéticos que podrían llevar a cabo la misma tarea. Posteriormente, los químicos de polímeros se dieron cuenta de que el bisfenol A podría ser utilizado en la producción de plástico, y actualmente éste es uno de los 50 químicos que más se producen. (Scott, 2005, p. 748).

Dos años más tarde, Dodds sintetizó el dietilestilbestrol (DES) que es similar desde el punto de vista estructural al estradiol cuando se observa en la conformación trans (ver fig. 6), así mismo si comparamos las estructuras del DES con la del BPA son similares, lo que podría indicar que efectivamente el BPA pudiese estar actuando como disruptor endócrino. Aquí es donde el PP puede manifestarse como una oportunidad para la apertura de nuevas líneas de investigación si bien el DES y el BPA presentan similitudes estructurales, habría que investigar más al respecto de la interacción de la molécula con el receptor de estrógeno.

El dietilestilbestrol (DES) es una forma sintética de la hormona femenina estrógeno. Se recetaba a las mujeres embarazadas entre los años 1940 y 1971 para prevenir abortos espontáneos, partos prematuros y otras complicaciones relacionadas con el embarazo (Professional and Public Relations Committee of the DESAD [Diethylstilbestrol and Adenosis] Project of the Division of Cancer Control and Rehabilitation, 1976). El uso del DES disminuyó después de que estudios realizados en la década de 1950 demostraron que no era un método eficaz para prevenir estos problemas. En 1971, los investigadores descubrieron, en un pequeño grupo de mujeres, una relación entre la exposición prenatal (antes del nacimiento) al DES y un tipo de cáncer de cuello uterino y de vagina llamado adenocarcinoma de células claras (Herbst AL, Ulfelder H, Poskanzer DC, 1971). Poco después, la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) notificó a los médicos de Estados Unidos que no se debía recetar DES a las mujeres embarazadas (FDA Drug Bulletin, 1972).



Estradiol

Dietilestilbestrol (DES)

Bisfenol A (BPA)

Fig. 6 Estructuras químicas de: Estradiol, Dietilestilbestrol (DES) y Bisfenol A (BPA) de izquierda a derecha.

Resumiendo, tenemos un compuesto químico que en sus inicios fue sintetizado como un compuesto estrogénico al cual, se le encontró una segunda utilidad como monómero para la producción de policarbonatos, de ahí que ahora resulta absurdo ignorar este efecto, asimismo comparte similitudes estructurales con el DES, una forma sintética de la hormona estrógeno que demostró potentes efectos negativos en la homeostasis del sistema endócrino con repercusiones severas en la salud.

5.3 La aplicación del Principio Precautorio (PP)

Como ya he mencionado al inicio de este apartado el BPA es una sustancia ampliamente utilizada en diferentes ámbitos de la vida cotidiana, cada vez surgen más estudios que sugieren los efectos nocivos a diferentes especies, es imprescindible que se comiencen a suscitar los debates para discutir sobre la legislación de las fuentes y dosis tóxicas para las diferentes especies en las que se ha descubierto dicha toxicidad.

Decidí ocupar el BPA como un caso de estudio para la aplicación del PP por ser un problema actual que aún no es atendida. Analizaré cada una de las premisas **mencionadas en el manual "Principio precautorio en acción"** (Ticker J. et al., 1999).

Paso Uno: Identificar la posible amenaza y caracterizar el problema.

El propósito de este paso es el de lograr una mejor comprensión de lo que podría suceder si la actividad continúa, y dar la seguridad de que usted está haciendo las preguntas correctas acerca de esta actividad. Las malas soluciones a menudo son el resultado de problemas mal definidos. Identifique tanto el problema inmediato como cualquier otro tema más general que pueda estar vinculado a esta amenaza. (p.11)

Según lo expuesto por (Ticker J. et al., 1999) estas son las preguntas que deben formularse; las cuales iré resolviendo con respecto al BPA.

¿Por qué es éste un problema? ¿Cuál es la escala espacial potencial de la amenaza? ¿Cuál es el rango completo del impacto potencial? ¿Para la salud humana, los ecosistemas o ambos? ¿Habrà impacto sobre especies determinadas o pérdida de biodiversidad? ¿Habrà impacto sobre las aguas, el aire o la tierra? ¿Es necesario considerar los impactos indirectos (tales como el ciclo de vida de producción y desecho de un producto) ¿Habrà poblaciones (humanas o ecosistemas) que resulten desproporcionalmente afectadas? ¿Cuál es la magnitud de los posibles impactos (su intensidad)? (p.11)

El BPA es un producto ampliamente distribuido en el planeta debido a que su principal uso es como materia prima de policarbonatos y resinas epoxi. Como he mencionado existe un potencial impacto para diferentes especies, incluida la humana y su ecosistema debido a la afectación de agua y tierra por la decadente deposición de los residuos que lo contienen lo cual

podría desembocar en la pérdida de biodiversidad ya que este posee un coeficiente de reparto octanol/agua ($\log K_{ow}$) =3.3 (PubChem, 2017) lo que lo caracteriza como una sustancia bioacumulable (Tabla. 1). Dicho compuesto podría ser más peligroso de lo que se cree si también sufriera el fenómeno de biomagnificación.

El fenómeno de biomagnificación es distinto del de bioacumulación. La biomagnificación requiere de la transferencia de contaminantes entre los niveles tróficos por ingestión. En contraste, la bioacumulación solo requiere la ingesta de contaminantes independientemente del nivel trófico y de la especie (Mance, 1989, p. 372)

Lo que lo convierte en una amenaza de mayor magnitud afectando a la cadena trófica y las principales fuentes de exposición para los humanos ya no solo serían los policarbonatos y resinas epoxi, si no los mismos alimentos.

Es necesario tomar en cuenta los impactos en la deposición de los desechos que contienen este producto, ya que muchos residuos plásticos llegan al mar y se concentran en el centro del Océano Pacífico Norte. Se estima que su tamaño es de 1 millón 400 mil kilómetros cuadrados (Fundación UNAM, 2015). Hasta ahora se han descubierto efectos negativos en especies como: roedores (Martínez, 2014), tortugas (Yadeun, 2014). Para determinar la magnitud de los posibles impactos, lo más adecuado sería la creación de una escala que permita marcar parámetros mediante los cuales cuantificar la intensidad del daño.

Para referirse a la amplitud del daño se debe considerar el momento en el cual se comienzan a tomar acciones respecto al problema; si para el **BPA se comenzará a tomar acciones "hoy", la amplitud del daño** podría describirse como moderada. Desgraciadamente, como ocurre en la mayoría

de los casos las medidas no comienzan a tomarse hasta que el daño llega a ser **“considerable” y es más complicado revertir los efectos.**

¿Cuál es la escala temporal de la amenaza? para definir la escala temporal conviene considerar dos aspectos:

1. *El lapso de tiempo entre una amenaza y el posible daño (inmediato, futuro cercano, futuro, generaciones futuras).* Considerando únicamente los efectos del BPA como disruptor endócrino, se podría hablar de una amenaza inmediata con alcance a generaciones futuras.

2. *La persistencia del impacto (inmediato, a corto plazo, mediano plazo, largo plazo, inter-generacional).* *¿Cuán reversible es la amenaza? Si la amenaza se concretará ¿será fácil de corregir o perdurará por generaciones? (fácil/rápida de revertir, difícil/cara de revertir, irreversible, desconocida).* Enfocándonos exclusivamente en los efectos del BPA como disruptor endócrino la persistencia de su impacto podría ser considerado a mediano plazo, y la erradicación de las consecuencias generadas a la salud reproductiva de las especies podría ser heredable y perdurar por generaciones.

Un alcance sobre los problemas existentes:

Definir un problema presente es menos difícil que proyectar problemas a partir de un proyecto futuro. Pero las primeras preguntas son similares:

¿El problema se refiere a la contaminación local producida por un establecimiento determinado, a una falta de preocupación más amplia respecto a la prevención de la contaminación, o a ambas? ¿Su causa radica en fallas a nivel gubernamental o en la negligencia de la empresa? ¿Es una amenaza seria o sólo una molestia? En lo que atañe al BPA, es debido a la falta de preocupación, respecto a la prevención de la contaminación

provocada por dicha sustancia, lo que la coloca como una amenaza potencial, por una parte, las empresas cargan con la responsabilidad de defender sus intereses por encima de la salud de las personas, y los gobiernos al no legislar al respecto.

Paso Dos: Identificar lo que se sabe y lo que no se sabe sobre la amenaza.

El propósito de este paso es el de lograr un cuadro más claro sobre la incertidumbre que rodea la comprensión de esta amenaza. Los científicos a menudo nos centramos en lo que sabemos, pero es igualmente importante, o tal vez más, tener claridad sobre lo que no sabemos. Existen grados y tipos de incertidumbre. Preguntas como: ¿Puede reducirse la incertidumbre con más estudios o más datos? Si es así, y si la amenaza no es grande, puede aceptarse la continuidad de un proyecto que aportará beneficios substanciales. ¿Nos hallamos frente a algo que resulta imposible de conocer, o sobre lo cual somos completamente ignorantes? Un alto grado de incertidumbre con relación a los posibles daños es una buena razón para no continuar con un proyecto. ¿Qué se sabe sobre los efectos aditivos y sinérgicos derivados de la exposición a múltiples estresores, y sobre los efectos acumulativos producidos por la exposición combinada a varios estresores? ¿Las afirmaciones de la industria y del gobierno de que una actividad es segura significan tan solo que aún no se ha demostrado su peligrosidad? Valdría la pena que usted prepare un cuadro que grafique todo lo que se sabe y lo que no se sabe acerca del riesgo, a fin de obtener una visión comparativa más clara y percibir cuáles son los vacíos que impiden una mayor comprensión del problema. (Ticker J. et al., 1999).

En el caso del BPA es posible reducir la incertidumbre con más estudios. Es importante que la población en general comience a exigirlos a los gobiernos ya que debido a que el problema es de magnitud mundial. La problemática entorno al BPA es parte de otro problema mayor que es la del

uso indiscriminado de los plásticos y la deficiente deposición de los residuos generados. Por ello también la importancia de estudiar los efectos aditivos, sinérgicos y acumulativos. En los comunicados emitidos respecto al tema al parecer hay una intención de las empresas por contrariar la evidencia que se ha suscitado en los últimos años, situación sumamente predecible, como menciona Scott (2005). Cuatro corporaciones en los Estados Unidos producen casi 2 mil millones de libras de bisfenol A cada año para el uso en las resinas de revestimiento en la mayor parte de los enlatados, en los carbonatos plásticos de los biberones para los bebés y en los juguetes de los niños, en los selladores dentales. Su forma modificada, tetrabromo bisfenol A, es la principal molécula involucrada en retrasar las llamas de los tejidos del mundo (p. 748), con ello es fácil deducir que la prohibición del BPA se traduce en pérdidas millonarias para las industrias involucradas.

Paso Tres: Reformular el problema para obtener una descripción de lo que debe hacerse.

El propósito de este paso es entender mejor qué se pretende obtener con la actividad propuesta. "Puede entonces reformularse el problema en términos de lo que se debe lograr, y de esta manera se facilita la identificación de posibles alternativas" (Ticker et al., 1999). Para solucionar la problemática en torno del BPA primero debe hacerse la confrontación de las evidencias que lo colocan como disruptor endocrino y la reevaluación de dosis tóxicas en las distintas especies afectadas.

Paso Cuatro: Evaluar las alternativas.

En este paso las actividades propuestas y las existentes son enfocadas de manera diferente. (Ticker J. et al., 1999).

Actividades propuestas: Aquí entra una de las principales razones por las cuales es necesario la aplicación del PP, en vez de preguntarnos qué nivel **de contaminación es "aceptable" es mejor preguntarse si es posible generar**

una alternativa más segura, esto repercute directamente en el ámbito de la innovación y la apertura de nuevas líneas de investigación.

- i. Analizar en cuales productos es urgente depurarlos de BPA, como ya algunos países lo han eliminado de productos para bebés.
- ii. Alertar a la población sobre los posibles efectos del BPA en el sistema endócrino, y los principales productos que lo contienen.
- iii. Legislar, para que los productos que lo contienen lo indiquen obligatoriamente en su etiqueta.

Actividades existentes: Una alternativa sería como lo refiere Calvo (2014): las resinas epoxi se obtienen por reacción de la epiclorhidrina y el bisfenol A no obstante también es posible la utilización de bisfenol F. La estructura de este se diferencia de la del bisfenol A por la ausencia de los dos grupos metilo entre los dos anillos fenólicos, lo que conlleva una mayor densidad molecular y consecuentemente mayor resistencia a los ácidos. "Es importante comentar que para productos que deben estar en contacto con alimentos no pueden utilizarse resinas fabricadas a partir del bisfenol A y que por tanto las basadas en bisfenol F son una excelente alternativa" (p.127) para considerar esta alternativa habría que corroborar que en efecto el bisfenol F no produce efectos estrogénicos ni de ningún otro tipo, esta alternativa solo puede considerarse como temporal, ya que aunado a esto corresponde solucionar el problema de la deposición de residuos plásticos, y una manera de contribuir es buscar cuáles productos pueden ser sustituidos, por otros materiales como vidrio y cerámica, también su fabricación con policarbonatos a base de BPA, que sean imposibles de modificar (al menos hasta ahora).

Paso Cinco: Determinar el curso de acción.

Tome toda la información reunida hasta el momento y determine el grado de precaución que debe tomarse: paralizar las actividades, exigir alternativas, o exigir las modificaciones que puedan reducir el impacto potencial. Una forma útil de hacer esto es convocar un grupo de personas para que sopesen la evidencia tomando en cuenta los datos sobre el alcance y la magnitud del impacto, el nivel de incertidumbre y las alternativas propuestas por diversas fuentes. (Ticker J. et al., 1999). En lo que atañe al BPA es esencial comenzar a exigir las modificaciones que ayuden a reducir su impacto, debe empezar a actuar globalmente, no es suficiente que solo unos cuantos países lo legislen, habrá que entender que es necesaria la intervención de organismos internacionales, promoción de debates con al menos las siguientes dos características: 1) que ambas partes (quienes defienden su inocuidad y quienes no) se encuentren debidamente representadas; 2) sea un equipo multidisciplinario.

Paso Seis: Monitoreo y seguimiento.

Sin importar qué medida se adopte, resulta imprescindible el monitoreo de la actividad a lo largo del tiempo, con el fin de identificar resultados esperados e inesperados. Quienes han emprendido la actividad en cuestión son los que deben asumir la responsabilidad financiera del monitoreo, pero si es posible, éste debe ser realizado por una fuente independiente. La información que se reúna puede justificar cursos de acción adicional o diferentes. (Ticker J. et al., 1999). Este paso es uno de los más importantes pues debe ser realizado periódicamente para el monitoreo de la efectividad de las acciones tomadas y con ello decidir entre continuar con ese rumbo o modificarlo.

5.4 El BPA un blanco de aplicación del Principio Precautorio (PP)

Para continuar con el desarrollo de los argumentos para la aplicación del PP al BPA usare como guía el ejemplo de las dioxinas que presenta (Ticker J. et al., 1999).

Evidencia del daño.

En estudios recientes el BPA ha demostrado efectos tóxicos, principalmente en los sistemas endócrino (Martínez, 2014), reproductivo (Yadeun, 2014) e inmune (Ramírez, 2016) de diversas especies. El efecto más estudiado ha sido su toxicidad como disruptor endócrino, debido a que **“los disruptores endócrinos presentan una particularidad toxicológica que escapan a las hipótesis del proceso tradicional de evaluación de riesgo y hacen necesario enfocar los riesgos que ocasionan desde una nueva perspectiva, aplicando el principio de precaución” (Moreno et al., 2012, p.9)**, debido a las particularidades del sistema endócrino nace la necesidad de prestar especial atención a los efectos nocivos para la salud que pudiese propiciar el BPA.

Persistencia y daño irreversible.

Como ya se ha referido reiteradamente, debido a que la principal aplicación del BPA es en la producción de policarbonatos y resinas epoxi, también se utiliza en la fabricación de resinas de poliéster, polisulfona y poliacrilato y de retardadores de llama, y estos a su vez constituyen la materia prima de diversos artículos. El policarbonato se utiliza ampliamente en la fabricación de materiales en contacto con alimentos, como biberones, vajillas, utensilios de horno y microondas, envases de alimentos, botellas de agua, leche y otras bebidas, equipos de procesamiento y tuberías de agua. Las resinas epoxi se usan como revestimiento de protección de diversas latas de alimentos y bebidas, y como revestimiento de las tapas

metálicas de jarras y botellas de vidrio, incluidos los envases de las preparaciones para lactantes. Estos usos provocan la exposición de los consumidores al BPA a través de la alimentación. (INFOSAN, 2009) y posteriormente debido al uso extensivo y al decadente tratamiento de los residuos de estos materiales, esto se traduce en la amplia distribución a escala mundial y una exposición continua y persistente en el medio ambiente que afecta.

Incertidumbre científica.

"Debemos aplicar el principio de precaución de forma que las incertidumbres que rodean los riesgos ocasionados por estas sustancias nos animen a buscar activamente **alternativas más seguras.**" (Moreno et al., 2012, p.9). Y así dejar de tomar como pretexto el grado de incertidumbre con la finalidad de frenar las investigaciones que pudiesen proporcionar evidencia clarificadora al respecto de los efectos dañinos del BPA. Si fuésemos coherentes, si desde su síntesis el BPA presentó actividad estrogénica, es absurdo ahora no tomar en serio las evidencias sobre dichos efectos.

Entre las principales esferas de incertidumbre está el hecho de que los estudios de la afectación al sistema endocrino, debido a la naturaleza del mismo, implica cierta dificultad, puesto que el desarrollo y función del sistema endócrino depende no sólo de los genes, sino también de otros cinco sistemas de control: el, Sistema Nervioso Central (SCN), las hormonas tróficas y sus servomecanismos, el ejercido a través de metabolitos, las interconexiones hormonales, y, por último, la relación con el sistema inmunológico (Albarrán, 2001 p.15).

Debido a la naturaleza de acción del sistema endócrino, vincular la exposición a un disruptor al padecimiento no es asunto trivial. Como lo indica Scaglia (2009) **"Los disruptores endocrinos (DE) pueden actuar**

modificando la biosíntesis, el transporte y el metabolismo de los esteroides sexuales y como agonistas o antagonistas androgénicos o estrogénicos por interacción con sus respectivos receptores, alterando en consecuencia el equilibrio fisiológico hormonal en ambos sexos induciendo fenómenos patológicos en los respectivos **ejes reproductivos**" (p. 77).

La prevención es posible.

¡Por supuesto!, debido a que el BPA es una molécula sintética, aplicada a fines específicos, a través de la aplicación del PP sería posible disminuir y hasta eliminar las principales fuentes de exposición.

Las medidas actuales son insuficientes.

Actualmente se comienza a generar un marco regulatorio. La Unión Europea fue pionera en el tema y en el año 2000 estableció una resolución de cooperación internacional. Suecia prohibió en Julio del 2013 el uso de BPA en barnices o recubrimientos para alimentos destinados a niños de cero a tres años, Dinamarca lo hizo en 2010, en 2012 Bélgica y Francia legislaron al respecto (Manzano, 2016). En México ha existido una iniciativa para legislar sobre el asunto, en la Gaceta Parlamentarias número 3746-VII del 11 de abril del 2013, la diputada Eva Diego Cruz exhortó a la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) a **"limitar el uso de productos con Bisfenol A"**. Lamentablemente dicha proposición ha quedado en el olvido.

La aplicación del PP se traduciría en lograr la nula exposición a BPA, pero debido a las circunstancias y a los intereses involucrados, esto tendría que ser gradual, iniciando por reducir y/o eliminar las principales fuentes de exposición, aunado a esto, comenzar la búsqueda para sustituir al BPA en el proceso de producción de policarbonatos y resinas epoxi.

Capítulo 6. Percepciones sobre la responsabilidad ética en la comunidad científica.

Este capítulo es que le da nombre a este trabajo. Cuando hablamos de ética en ciencia, pareciera que los científicos son el tipo de agentes que son enteramente objetivos y defensores de la verdad. Como refiero en el segundo capítulo, esto no siempre es así, si bien como menciona Pérez Tamayo (2003) **"los científicos tenemos el interés común de decir el menor número posible de mentiras por minuto"** (p.255). Esto no es sinónimo de que al momento de realizar su quehacer se deslinden completamente de su idiosincrasia, si bien los más congruentes lo intentan, no siempre se logra, porque los científicos no dejamos de ser humanos con pasiones y afectos. Retomando la premisa respecto a lo peligroso que es la tan socorrida tendencia moderna de atribuir veracidad a todo lo que tenga implícito la palabra ciencia. Por estas circunstancias considero necesario que los científicos debemos replantear el papel de la ética al momento de ejercer la **profesión y buscar firmemente una forma en que este "amor" de las sociedades contemporáneas a todo lo que se relacione con ciencia no caiga en el reduccionismo y determinismo.** Estos dos conceptos pueden actuar juntos. Por **una parte "el reduccionismo tiene una interesante historia** en la filosofía de la ciencia. Sus raíces se encuentran en siglo XVII con la concepción mecanicista defendida por Descartes (Díaz, 2005). Actualmente se puede hablar de reduccionismo como una estrategia para describir una teoría a partir de otra mediante el uso de la inducción, **"Wimsatt sostiene que en un universo en el que el reduccionismo es una buena estrategia, las propiedades de las entidades de nivel superior son explicadas mejor en términos de las propiedades e interrelaciones de las entidades de nivel inferior"** (p.57) pero, esta operación tiene el defecto de introducir sesgo en la investigación.

Por su lado, el determinismo nace en el siglo XVII y afirma que las reacciones a alguna causa están determinadas por la naturaleza de la **misma**. “debemos subrayar que determinismo y reduccionismo no son sinónimos. Puede haber reduccionismo- es decir, explicaciones de fenómenos que apelan a mecanismos, o reconocimiento de que es importante describir la interacción de las partes de un organismo-, sin que haya determinismo. En cambio, lo contrario no se cumple”. (Díaz, 2005, p.58)

Todos los días nos encontramos en los medios de comunicación, sobretodo en redes sociales como Facebook, titulares que dicen: **“científicamente comprobado”**. **Justo hoy me encontré con este:** ¡Científicamente comprobado, las personas que duermen hasta tarde son mucho más inteligentes! Al abrir la nota siempre se encuentra un texto que **describe el “experimento” realizado en “X” Universidad**, pero nunca hay datos que mencione bajo qué condiciones se realizó el estudio, para que este se pueda considerar como significativo. Lo inadecuado de estas notas es que los títulos por lo general son atractivos y deterministas, que es el mensaje con el que al final se quedan las personas, esto las hace como menciona **Juan Villoro: “referencias desvirtuadas del presente”**.

De la misma manera como refiere Aréchiga (2004) “los medios de comunicación suelen transmitir a la sociedad visiones deformes de lo que son la actividad científica, sus artífices y sus productos. Prometeo está siendo desplazado en la imagen pública por el doctor Frankenstein” (pp. 56,57).

Si bien existe un sector con una especie de fe ciega hacia la ciencia, también ha surgido su contraparte, que comienza a rechazarla en extremo. Este capítulo es una invitación a la reflexión de la comunidad científica, en especial a la comunidad química que es en la que he desarrollado mi

educación, sobre la importancia de que la ciencia no se hunda en el determinismo y la importancia de la difusión de la ciencia, dejando siempre claro que esta no posee verdades absolutas, que es una herramienta que utilizamos la especie humana para robustecer el conocimiento de esta realidad.

6.1 De la moral a la ética

Es común que el término moral y ética se ocupen erróneamente como sinónimos, es necesario marcar en que difieren para poder determinar en cuales situaciones los individuos se rigen bajo los términos de la moral y cuando bajo los de la ética. Cuando el hombre dejó de ser nómada con el surgimiento de la agricultura, comenzó a ser necesaria la implantación de normas y principios mediante los cuales las comunidades podían regirse y con ello mantener orden y en el mejor de los casos la paz. Se desconoce cómo fue el sistema mediante el cual se implementaron dichas normas. Hoy **en día, como refiere Agazzi (1996), "nadie cimenta tales normas y principios, sino que se los encuentran ya prefijadas, estas comienzan desde la familia, y posteriormente por otras instituciones sociales con las que el individuo se pone en contacto a lo largo de su existencia"** (pp.331-332). Así **podemos definir a la moral como "el conjunto de normas y principios que regulan el obrar humano"** (p.334) la cual:

Responde a la necesidad social de regular en cierta forma las acciones de los individuos en una comunidad dada; [...] La moral no es conocimiento, o teoría de algo real, sino *ideología*, o sea, conjunto de ideas, normas y juicios de valor -junto con los actos humanos correspondientes-, que responden a los intereses de un grupo social. (Sánchez Vázquez, 1999 p. 99)

Así a cada individuo, desde que nace hasta el último de sus días, se encuentra inmerso en un sistema moral previamente formulado delimitado

por el espacio geográfico y cultural; mediante la utilización del libre albedrío lo acepta y/o crítica a través del razonamiento lógico, este acto de cuestionamiento hacia las normas morales preestablecidas es lo que lleva al surgimiento de la ética. Entonces tenemos que la ética es **"la reflexión crítica acerca de la moral, o sea, la ética tiene así a la moral como su principio como su propio objeto de estudio"**. (Agazzi, 1996 p.334) es decir cuando se busca de una manera racional la justificación del porque obrar de cierto modo y no de cualquier otro. Es importante recalcar que la ética no se encarga de establecer normas.

6.2 El contenido moral en el quehacer científico

Según Sánchez Vázquez (1984) la relación entre ciencia y moral puede plantearse en los siguientes dos planos: el primero con respecto a la naturaleza de la moral. En este plano, cabe hablar del carácter científico de la moral, (el cual no discutiré debido a que no es la finalidad este trabajo) y segundo con respecto al uso social de la ciencia en el cual cabe discutir sobre el papel moral de los hombres y mujeres de ciencia.

El científico como cualquier otro profesional al recibir su grado académico asume una responsabilidad moral, la cual como hace notar **Sánchez Vázquez (1984) son:** "a) en el ejercicio de su actividad, aquí se encuentran expresadas las normas morales que definen su quehacer y b) **por las consecuencias sociales de ella,"** (p.100) esta es la cuestión donde me enfocare debido a que entra en el terreno de la ética, pues el científico mediante el análisis de las posibles consecuencias sociales, puede comenzar **la crítica de las normas establecidas. Porque en "nuestra época, que se caracteriza por la enorme elevación del papel de la ciencia en el progreso tecnológico, el contenido moral de la actividad científica se precisa y se enriquece aún más. La ciencia se convierte cada vez más en una fuerza productiva y, a la vez, en una fuerza social."** (Sánchez Vázquez, 1984 p.100)

por ello la importancia que los agentes científicos y tecnólogos tengan clara conciencia de lo que implica su actividad en la sociedad y los impactos **negativos que ésta pudiese estar generando. "El científico no puede permanecer indiferente ante las consecuencias sociales de su labor es decir ante el uso que se haga de sus investigaciones y descubrimientos."** (Sánchez Vázquez, 1984 p.101).

6.3 El determinismo

Hacking (1991) nos dice: **"el acontecimiento conceptual más importante de la física del siglo XX fue el descubrimiento de que el mundo no está sujeto al determinismo"** (p.17) pero **¿qué es el determinismo? Según** la Real Academia de la Lengua Española (RAE) define como determinismo a la teoría que supone que la evolución de los fenómenos naturales está completamente determinada por las condiciones iniciales, Hacking (1991) indica que en este siglo el determinismo sufre lo que se podría llamarse una derrota y como la concepción determinista de la realidad debe subyugarse **ante lo que podría ser una paradoja "el pasado no determina exactamente lo que ocurrirá luego"** (p.17). Y así poder aceptar que, aunque el mundo pareciera funcionar de una forma **"regular", este no se encontraba** plenamente dictado por las leyes naturales, y así es como la humanidad le da la aceptación al azar.

6.3.1 Determinismo biológico.

El determinismo biológico es una concepción que intenta la explicación total de los fenómenos sociales con base a dos principios centrales: por un lado, considerar que los fenómenos en las sociedades humanas son consecuencia del comportamiento de los individuos y, por el otro, que dichos comportamientos individuales son resultado directo de las características biológicas - innatas- de los individuos. (Suárez et al., 2005 p. 53).

Lo que representa el determinismo biológico es una respuesta reduccionista de algo tan complejo como es el comportamiento humano, una burda manera de explicar patrones de conducta de los individuos **mediante la herencia genética.** **“Es innegable que, en la sociedad occidental contemporánea, se ha conferido a la ciencia la misma autoridad que tuvo en otras épocas la Iglesia; ha resultado ser un fuerte legitimador de la ideología dominante en lugares y tiempos específicos”** (Suárez et al., 2005 p. 56), lo que es sinónimo de dejar de adorar a un ídolo por otro, hacemos de la ciencia nuestro nuevo Dios, es aquí donde radica lo que podríamos denominar como **“las malas intenciones” del determinismo biológico.** **Esta concepción determinista termina convirtiéndose en “ideología”** y las ideologías son las ideas propuestas por la cultura dominante, con la función de que esta mantenga su *status quo*. De esta manera la ciencia es utilizada para reforzar ciertas ideologías que son convenientes según el contexto histórico y la población mantiene y acepta como verdades, estas son clave en momentos coyunturales anegados de desencantamiento.

6.4 El uso de teorías científicas para generar reduccionismo.

Para el desarrollo de este argumento, utilizare lo mencionado por Simon Blackburn en su libro **“Sobre la bondad. Una breve introducción a la ética”** **“Hay una voluntad generalizada de encontrar patrones de comportamiento que nos permitan comprender y tal vez incluso controlar la actividad humana. La mala noticia es que estamos dispuestos a dar autoridad a cualquier persona que lleva una bata blanca, incluso en cuestiones que van más allá de la ciencia.”** (Blackburn, 2002 p.64). Para ejemplificar lo dicho por Blackburn haré nuevamente referencia a situaciones que son cotidianas en las redes sociales. Hace no mucho encontré una imagen en donde se ilustraba el proceso bioquímico que sufre un individuo durante el proceso de enamoramiento, haciendo énfasis en la

moléculas involucradas en dicho proceso y al final una frase que decía más o menos así: “el amor no es más que un montón de endorfinas, que puedes sustituir comiendo chocolate”, algunos pueden decir que es algo exagerado darle importancia a algo de este tipo, pero a lo que voy con esto, es un poco a lo que Blackburn plantea en el capítulo que lleva por nombre “la teoría evolucionista” en donde menciona esta tendencia a partir de que se logró “descifrar” el código genético de querer explicar todas y cada una de las conductas, haciendo alusión a que se encuentran codificadas en el DNA, lo que paradójicamente es parecido al determinismo de los físicos antes del siglo XX; ahora los biólogos quieren reducir todo a lo que “dice” el código genético en términos de secuencia de bases.

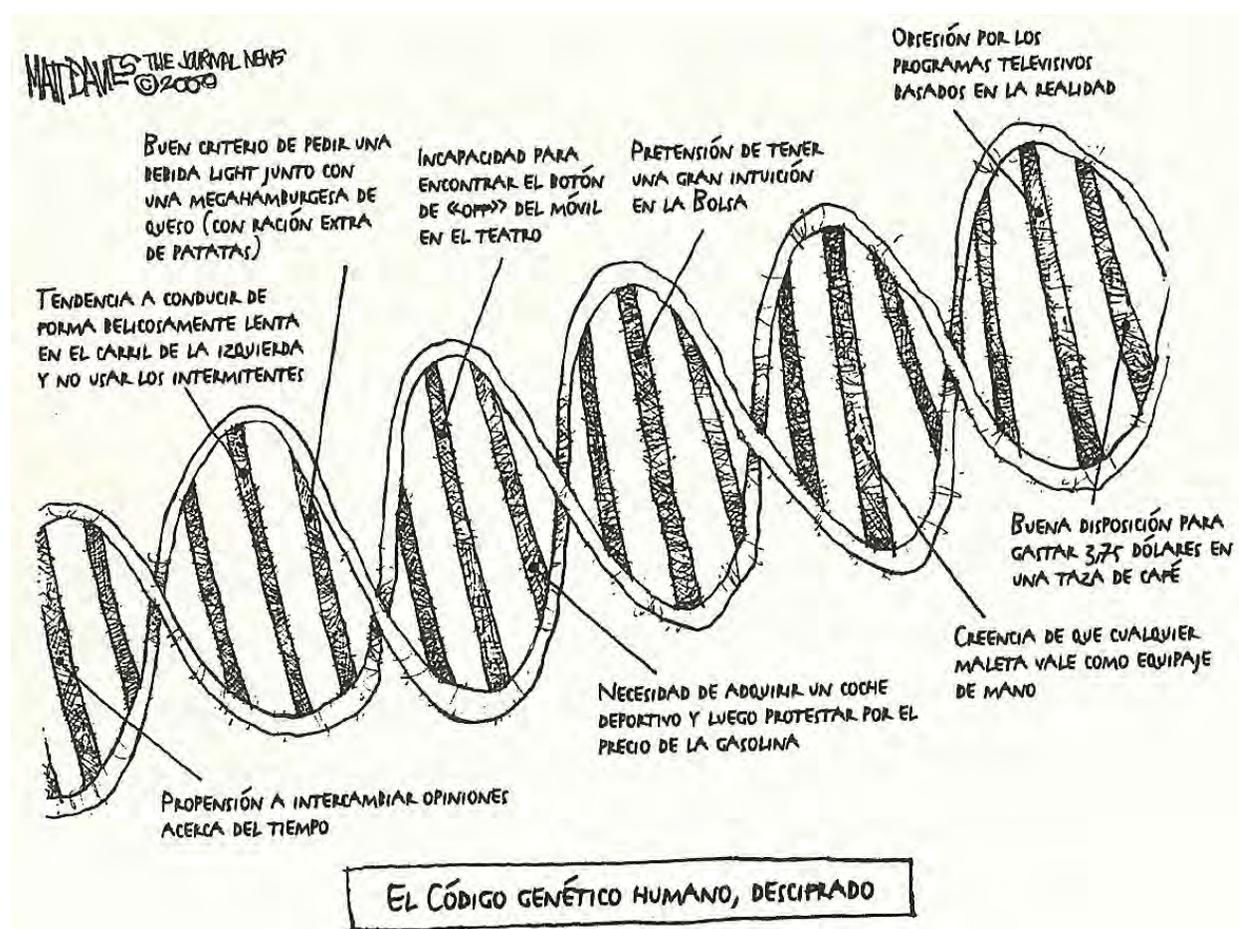


Fig. 7 Matt Davies, El código genético humano, descifrado.

La ilustración de Matt Davies "El código genético humano, descifrado" (Fig. 7) es excepcional ya que representa esta tendencia un tanto generalizada de explicar todo en términos de la evolución biológica. Lo que propicia es que las personas terminen desvalorizando muchas cuestiones éticas con el argumento: ¡está en los genes, imposible modificar tal o cual actitud!, lo que lleva a la formulación de la pregunta ¿son todas las reglas igualmente inútiles, a causa del determinismo genético? (Blackburn, 2002 p.75) lo que conlleva a que algunas personas concluyan que es inútil intentar llevar las normas éticas de su sociedad, **debido a que "si 'todo está en los genes' la ética no sirve para nada"** (Blackburn, 2002 p.72). La respuesta, como menciona Blackburn (2002) es: no, pues si simplemente nos basamos en la misma naturaleza de DNA, esta es del tipo dinámica, y como se ha descubierto no solo se basa en la secuencia de nucleótidos, sino también a los cambios en el grado de condensación de la cromatina que desembocan en la expresión génica y en el fenotipo, que es lo que se encarga de estudiar la epigenética; por lo que una buena parte de la expresión de los genes se encuentra determinada por el ambiente en el cual se desarrolla el organismo y se encuentra constituido por elementos físicos, químicos, biológicos y sociales que son los que definen la constitución de los organismos vivos. De esto se encargó de fundamentar Charles Darwin (1859) al publicar *El origen de las especies*, **"si fuéramos aficionados a la paradoja, podríamos decir que la genética nos programa para ser flexibles."** (Blackburn, 2002 p.76).

El determinismo es una amenaza para la ética, porque impone la idea de que ¡No podemos ir en contra de la Naturaleza!, el conducirnos bajo esta corriente de pensamiento es como elegir despojarse del libre albedrío, pues en primer lugar recae en la unidimensionalidad cientista y segundo favorece el estancamiento, no nos permite comprender que somos organismos que forman parte de un sistema complejo llamado Universo.

6.5 Ética, química y sociedad

La combinación de estos conceptos es un reto actual y de urgencia, comenzando por interpretar el sistema científico tecnológico como un **sistema complejo "abierto" que interactúa con el ambiente que le rodea "y no puede dejar de recibir (a los fines de su mismo funcionamiento) numerosos influjos según circuitos muy complejos de ser."** (Agazzi, 1996 p.357) el cual cuenta con un sistema moral, pero que requiere de un buen desarrollo, de una ética contextualizada. Conviene ser conscientes de que los valores también se encuentran regidos por paradigmas, y la interacción con otros sistemas de valores y deberes lo robustecen, además debido al **fenómeno "generalizado de impregnación de nuestra cultura por la ciencia, que ha introducido en ella la prevalencia de una mentalidad científicista a nivel, por así decirlo, del inconsciente colectivo."** (Agazzi, 1996 p.357). Esto genera la necesidad de crear sistemas que lo regulen, si bien una parte de esta regulación puede y debe ser autoreglativa debido a la interacción con otros sistemas como son: el económico, político y cultural; estos a su vez deben contribuir a la regulación y con ello generar optimización la cual **"consiste en hacer que ningún valor resulte completamente sacrificado, o demasiado sacrificado, y que la maximización de cada uno de los valores venga limitada justamente por el compromiso de no perjudicar la adecuada satisfacción de otros valores."** (Agazzi, 1996 p.362)

Comenzar a hablar de ética en química es necesario debido a que esta se encuentra involucrada en una inmensa variedad de campos, como son: alimentos, minería, medicina y salud. Dentro de las diversas ramas se ha prestado especial atención a lo referente con la ingeniería genética y la necesidad de la creación de códigos de ética. Esto desembocó en la creación de la bioética, sin embargo, en otros rubros también viene siendo necesario el aseguramiento de la observancia del código ético de la química.

Retomando el caso del BPA, hay una pregunta clave para abordar el conflicto ético en esta problemática, y es ¿en dónde estaban los químicos, al momento de decidir que era una buena idea colocar este compuesto, que inicialmente fue sintetizado como estrógeno, cerca de los alimentos? ¿Por qué los químicos siempre se encuentran al margen de la toma de decisiones tan delicadas? Desafortunadamente la mecanización de los procesos, ha generado que los profesionales de la química terminen siendo solo parte del engranaje, sí, los profesionales de la química en la industria terminamos **fungiendo como "obreros calificados"**.

Para finalizar quiero recordar a Prometeo, aquel titán creador y benefactor de la humanidad.

El hermoso mito de Prometeo nos transmite la imagen admirativa de la sociedad que considero que arrebató el secreto del fuego a los dioses, para entregarlo a los hombres, si bien fue un acto de rebeldía ante la divinidad, y por tanto punible, busco el bien común. (Aréchiga, 2004 p. 42)

La belleza de este mito radica en que mediante el uso del fuego como instrumento el hombre inició su trayecto en el uso de la técnica, para luego dar lugar a la ciencia. Los químicos somos herederos de Prometeo, le arrebatamos algunos secretos a la naturaleza y luego los mostramos a la **humanidad, pero ahora "Prometeo sigue arrebatando al fuego a los dioses, pero ahora lo vende a los mortales"** (Aréchiga, 2004 p. 45). Éste hecho es notorio en las diferentes disciplinas científicas, y en química es bastante **fuerte, "en general al incursionar la ciencia en el mundo de la empresa y del gobierno, su ética se ha mezclado con la de esos dos conjuntos sociales, y ha cambiado en consecuencia. De hecho, al ser mayores esos conjuntos que el de los científicos, es más lo que han transformado a la ética original del**

científico, que lo que ésta a **influido sobre los otros sectores**” (Aréchiga, 2004 p. 59).

Mediante esta lógica es imperativo que los profesionales de la química sean cada vez más conscientes y responsables de su comportamiento ético, para ello es indispensable que desde su formación se haga hincapié sobre las distintas formas de abordarlos como menciona Aréchiga:

Sería más fácil mantener una postura ética tradicional de no vender el conocimiento ni lucrar con él, en áreas como la ciencia básica, en las que el mercado es más limitado, que en otras como el desarrollo tecnológico, en las que hay una demanda mercantil más atrayente, y desde luego, es más fácil [...] evitar el caer en tentaciones cuando éstas escasean; sin embargo, las interacciones de la Universidad con las empresas, están llevando tentaciones inesperadas al *sancta sanctorum* de la academia, y es necesario saber comportarse adecuadamente ante ellas. (p.60)

Los retos para la ética en la química son grandes y se multiplican. La Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) indica que su misión es: **“Formar profesionales de excelencia con amplias capacidades en ciencia y tecnología químicas, comprometidos con aportar valor a la sociedad, en el marco del desarrollo sustentable del país.”** No hay ninguna duda de las excelentes capacidades en ciencia y tecnología de sus egresados, pero para lograr el cometido de aportar a la sociedad un desarrollo sustentable se debe empezar a echar mano de la aplicación del PP, iniciando en las aulas para que los alumnos puedan plasmarlo en su vida profesional.

Bibliografía

- Acosta, J. (2012 de Marzo de 2012). *Universidad católica Andrés Bello*. Obtenido de http://www.academia.edu/19504980/EL_CISNE_NEGRO
- Agazzi, E. (1996). *El bien, el mal y la ciencia. Las dimensiones éticas de la empresa científico-
tecnológica*. Madrid: Tecnos.
- Alvarado Mercado, J. (2012). El emocional uso de un concepto racional. El miedo como atenuante en la aceptación y aplicación eficaz y eficiente, del Principio Precautorio. En F. Cano Valle, *El principio precautorio* (págs. 249-292). México : UNAM.
- Andorfer G., M. R. (1980). *Cosmos: A Personal Voyage* [serie de televisión]. Estados Unidos : Public Broadcasting Service .
- Arénchiga, H. (2004). Los aspectos éticos de la ciencia moderna. En M. Aluja, & A. Birke, *El papel de la ética en la investigación científica y la educación superior*. (págs. 41-61). México: FCE, Acedemia Mexicana de Ciencias.
- Bautista, G. M. (2016). *Determinación del contenido de "Bisfenol A" en guayaba, chayote, Zanahoria y sus papillas comerciales*. México: UNAM.
- Bello Ocampo, E. (2012). El principio precautorio y sus fundamentos filosóficos. En F. Cano Valle, *El principio precautorio* (pág. 21). México: UNAM.
- Blackburn, S. (2002). *Bobre la bondad: una breve introducción a la ética*. Barcelona; México: Pidos Iberica.
- C.P, S. (2000). *Las dos culturas*. Buenos Aires: Nueva Vision.
- Calvo Carbonell, J. (2014). *Pinturas y barnices. Tecnología básica*. México: Díaz Santos.
- Complejidad, C. d. (28 de Septiembre de 2016). *Centro de Ciencias de la Complejidad*. Obtenido de <http://c3.unam.mx/c3/acerca-del-c3>
- del Rio, F. (1994). Vidas paralelas en ciencia y tecnología. En L. Mayer, & R. Varela, *Los grandes problemas de la ciencia y la tecnología condiciones y retos para la investigación científica y tecnológica* (págs. 15-25). México: UAM, UNAM.
- Delors, J. (1993). *Libro Blanco de Crecimiento, Competitividad y Empleo* . Lisboa.
- Díaz, S. E. (2005). Reduccionismo y biología en la era postgenómica. *CIENCIAS*, 54-64.
- E.P Box, G., G. Hunter, W., & Hunter, J. (2001). *Estadística para investigadores. Introducción al diseño de experimentos, análisis de datos y construcción de modelos*. México : Reverte.
- Echeverría, J. (2003). *La revolución tecnocientífica*. España: FCE.

- Fernández-Rañada, A. (2003). *Los muchos rostros de la ciencia*. México: FCE .
- Figueruelo, J. E., & Dávila, M. M. (2004). *Química Física del Ambiente y de los procesos medioambientales*. España: Reverté.
- Gómez, S. O. (2009). *Escenarios de la distribución de cadmio en agua y sedimento en la presa Arcediano*. Morelos: UNAM.
- González Aquino, R. G. (2016). *Estudio de un polímero de impresión molecular (MIP) para la detección del bisfenol A (BPA) en un alimento enlatado*. México: UNAM.
- Guillaumin, G. (2005). *El surgimiento de la noción de evidencia. Un estudio de epistemología histórica sobre la idea de evidencia científica*. México: UNAM.
- Hacking, I. (1991). *La domesticación del Azar. La erosión del determinismo el nacimiento de las ciencias del caos*. Barcelona: España.
- Himsworth, H. (1986). *Scientific Knowledge and Philosophic Thought*. EUA: Johns Hopkins University Press.
- Infante Gil, S., & Zarate de Lara, G. (2012). *Métodos estadísticos. Un enfoque interdisciplinario*. La Gaya Ciencia.
- J. Evans, M., & S. Rosenthal, J. (2005). *Probabilidad y estadística*. España: Reverte.
- Jacquard, A. (2005). *La ciencia para no científicos*. México: Siglo XXI.
- Jara, M. (2007). *Traficantes de salud. Cómo nos venden medicamentos peligrosos y juegan con la enfermedad*. Barcelona: Icaria.
- Kang, J., & Katayama, Y. (2006). Human exposure to bisphenol A. *Toxicology*, 79-89.
- Kuhn, T. (2004). *La estructura de las revoluciones científicas*. México: FCE.
- Lang, I. G. (2008). Association of urinary bisphenol A concentration with medical disorders and laboratory. *JAMA*, 1303-1310.
- Lara Rosano, F. (1998). Actores y procesos en la innovación tecnológica. En F. Lara Rosano, *Tecnología: Conceptos, problemas y perspectivas* (págs. 5-21). México: siglo XXI editores.
- Leonard, A. (2010). *La historia de las cosas: de cómo nuestra obsesión por las cosas está destruyendo el planeta, nuestras comunidades y nuestra salud. y una visión del cambio*. Argentina: FCE.
- Lim, D. K. (2009). Potential risk of bisphenol A migration from. *Journal of Toxicology*, 21-22.
- López, E. S. (16 de Febrero de 2007). *Comunicación Siglo XXI*. Obtenido de <http://comunica9016-2.blogspot.mx/2007/02/qu-es-la-ciencia-por-ruy-prez-tamayo.html>

- Mance, G. (1989). *Pollution threat of heavy metals in aquatic environments*. New York: Elsevier. .
- Martínez Peña, A. A. (2014). *Efecto del disruptor endócrino bisfenol-a sobre la ovulación, fertilización e implantación en roedores: estudio de las proteínas de las uniones estrechas relacionadas con la implantación*. México: UNAM.
- Merton, R. (1977). *La sociología de la ciencia 2. Investigaciones teóricas y empíricas*. Madrid: Alianza Editorial.
- Miralles García, J., & de Leiva Hidalgo, A. (2001). *Enfermedades del sistema endocrino y de la nutrición*. España: Universidad de Salamanca.
- Moreno Marquez, E. M., & Nuñez Álvares, A. (2012). Disruptores endocrinos, un posible riesgo tóxico en productos de consumo habitual. *Unirevista.es*, 35-43.
- Olivé, L., & Pérez Tamayo, R. (2011). *Temas de ética y epistemología de la ciencia. Dialogos entre un filósofo y un científico*. México: FCE.
- OMS-FAO. (2009). *BISFENOLA (BPA) – Estado actual de los*. INFOSAN.
- Parlamentaria, G. (15 de Noviembre de 2016). Obtenido de <http://gaceta.diputados.gob.mx/Black/Gaceta/Anteriores/62/2013/abr/20130411-VII/Proposicion-20.html>
- Pérez Tamayo, R. (2003). *¿Existe el método científico?* México: FCE.
- Plastics, E. (19 de Noviembre de 2016). *Europe Plastics*. Obtenido de <http://www.plasticseurope.org/Document/safety-of-bisphenol-abpa.aspx?Page=SEARCH&FolID=2>
- Priest, D. (2000). Public opinion divided over biotechnology. *Nature Biotechnology*, 939-942.
- Pritchett, J. K. (2002). Metabolism of bisphenol a in primary cultured. *Drug Metab Dispos*, 5.
- Pulido, E. (2008). Sobre la neutralidad de la ciencia. *Revista electrónica de humanidades, educación y comunicación social.*, 171-178.
- Ramírez Nieto, R. (2016). *Efecto de la exposición perinatal a BPA sobre la susceptibilidad al desarrollo tumoral y la respuesta inmune asociada*. México: UNAM.
- Romano, M. (2012). Disruptores Endocrinos. Nuevas respuestas para nuevos retos. *Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud (ISTAS)*, 1-53.
- Sánchez Vázquez, A. (1984). *Ética*. Barcelona: Grijalbo.

- Scaglia, H., Chichizola, C., Franconi, M. C., Ludeña, B., Mastandrea, C., & Scaglia, J. (2009). Disruptores endocrinos. Composición química mecanismo de acción y efectos sobre el eje reproductivo. *Laboratorio de Determinaciones Hormonales. Hospital Italiano de La Plata y Alkemy-Center Lab. Santa Fe*, 74-86.
- Scott F., G. (2005). *Biología del desarrollo*. Argentina: Panamericana.
- Shaw, I. (2009). Endocrine-disrupting chemicals in food. *Elsevier*.
- Snyder, R. M. (2000). Metabolism and disposition of bisphenol A in female. *Toxicol Appl Pharmacol*, 225-234.
- Stewart, R. (2005). *Filosofía y sociología de la ciencia*. Mexicano: Siglo XXI editores s.a. de c.v.
- Stowell, C. B. (2006). A role for sulfatation-desulfatation in uptake of. *Chem Biol.*, 891-897.
- Suárez, L., & López, G. (2005). *Eugenesis y racismo en México*. México: UNAM.
- Tickner, J.; Raffensperger, C.; Myers, N.; (1999). *Manual: El principio precautorio en acción*. Red de ciencia y salud ambiental (SEHN).
- UNAM, F. (25 de Noviembre de 2016). *Fundación UNAM*. Obtenido de <http://www.fundacionunam.org.mx/ecologia/las-islas-de-basura-en-nuestros-oceanos/>
- Vandenberg, L. H. (2007). Human exposure to bisphenol A (BPA). *Reproductive Toxicology*, 139-177.
- Yedeun de Antuñano, M. (2014). *Efecto del bisfenol a en el desarrollo gonadal de embriones de tortuga marina lepidochelys olivácea*. México : UNAM.
- Zhou, Z. L. (1995). Specificity of ligand-dependent androgen receptor stabilization: receptor domain interaction influence ligand dissociation: receptor domain interaction influence ligand dissociation and receptor stability. *Mol. Endocrinol*, 208-218.