



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA**

TENDENCIAS EN SOLVENTES

**Trabajo Escrito vía curso de educación continua,
que para obtener el Título de:**

INGENIERO QUÍMICO

**PRESENTA
Saúl Adolfo Tamayo Cantón**



Ciudad.Universitaria, CDMX 2016



Universidad Nacional
Autónoma de México



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: CARLOS GUZMÁN DE LAS CASAS
VOCAL: MARÍA DE LOS ÁNGELES PATRICIA OLVERA TREVIÑO
SECRETARIO: MARINA ESTÉVEZ GALLARDO
1er. SUPLENTE: FRANCISCO JAVIER RODRÍGUEZ GÓMEZ
2° SUPLENTE: JORGE RAFAEL MARTÍNEZ PENICHE

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

RIO MIXCOAC #212
COL. ACACIAS DEL VALLE
03240 MÉXICO, D.F.

ASESOR DEL TEMA: MARINA ESTÉVEZ GALLARDO

SUSTENTANTE: SAÚL ADOLFO TAMAYO CANTÓN

Agradecimientos.

Estoy muy agradecido con mi país, el cual me ha visto nacer y desarrollarme en su propio seno. Me ha vestido y a dado de comer. Gracias a México, he logrado tener una vida digna y una familia que atesoro grandemente.

Estoy agradecido con la Universidad Nacional Autónoma de México que me ha dado una educación de primer nivel y me ha pedido nada a cambio.

Quiero agradecer a mis papas que me dieron una gran educación con lo que tuvieron a la mano.

Un agradecimiento a mis hermanas y sus familias por su apoyo incondicional.

Especial agradecimiento a mi esposa y a mis hijos que siempre han creído en mí y han sido fuente de inspiración.

Siempre pensé que escribiría esta hoja primero antes de todo el documento, pero en realidad a sido la última página que escribo y esto es debido a que a través del documento, he encontrado personas de gran valor que me han ayudado y han sido catalizadores para que se de este paso final.

En realidad, a sido un maravilloso camino el que he experimentado desde que salí de la Facultad de Química y han interactuado conmigo una gran cantidad de personas grandes y valiosas de las que he aprendido mucho y quiero en este momento agradecerles a todos y cada uno de ellos.

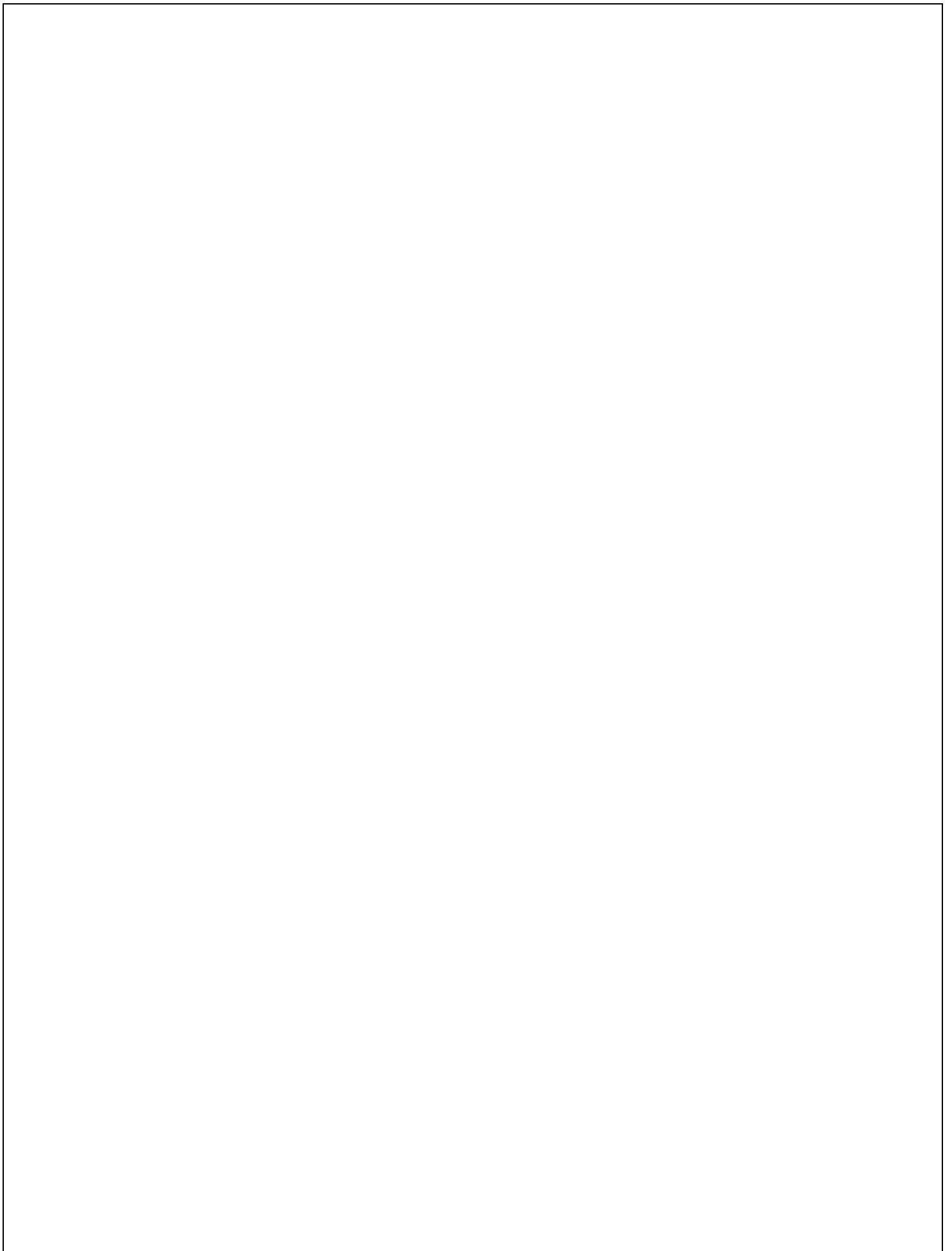
Creo lo importante es el poder desarrollar el sentimiento de agradecimiento, sabiendo que solos no podemos hacer mucho y que nos necesitamos los unos de los otros.

Índice.

1. Objetivo.....	1
2. Introducción.....	2
3. Solventes.....	4
3.1. Definición.....	4
3.2. Clasificación.....	5
3.2.1. Por Composición Química.....	5
3.2.1.1. Alifáticos.....	6
3.2.1.2. Aromáticos.....	8
3.2.1.3. Oxigenados.....	9
3.2.1.4. Halogenados.....	10
3.2.1.5. Nitrogenados y Sulfurados.....	11
3.2.2. En función de su carácter Ácido - Base.....	13
3.2.3. En función de la interacción Soluta - Solvente.....	16
3.2.3.1. Activo.....	19
3.2.3.2. Latente (o Co solvente).....	19
3.2.3.3. Diluyente.....	20
3.2.4. Por constante Física.....	22
3.3. Usos de Solventes.....	29
3.3.1. Reacción Química.....	29
3.3.2. Extracción.....	30
3.3.3. Pinturas y Recubrimientos.....	32
3.3.4. Tintas de Impresión.....	32
3.3.5. Productos de Limpieza.....	33
3.3.6. Adhesivos.....	33

3.3.7. Fármacos.....	34
3.3.8. Productos Agrícolas y Alimenticios.....	34
3.3.9. Higiene Personal.....	35
3.3.10. Automotriz.....	35
3.3.11. Microchips.....	36
3.3.12. Aerosoles.....	37
4. Tendencias en Usos de Solventes.....	38
4.1. PRIMERA: Sustitución de Clorados.....	39
4.2. SEGUNDA: Restricción al Uso de Hidrocarburos.....	40
4.3. TERCERA: Evolución de Oxigenados.....	41
4.4. CUARTA: Revolución Verde.....	43
5. Criterios de Selección de Solventes.....	43
5.1. Poder Solvente.....	44
5.2. Rapidez de Evaporación.....	45
5.3. Otros Criterios para Seleccionar Solventes.....	46
5.3.1. Matriz de Perdomo.....	47
5.3.2. Seguridad, Salud y Medio Ambiente.....	47
6. Solventes Verdes.....	48
6.1. Química Verde.....	53
6.2. Conceptos Fundamentales.....	53
6.3. Impacto Ambiental.....	54
6.3.1. Destrucción de la Capa de Ozono.....	54
6.3.2. Formación de Neblina Fotoquímica.....	58
6.3.3. Producción y la destrucción Natural del Ozono en la Tropósfera.....	59
6.3.3.1. Vía de producción del Ozono en la Tropósfera.....	60

6.3.3.2. Producción del Ozono a partir de VOC y NOx en la tropósfera	
Ejemplo Metano.....	60
6.4. Criterios de Evaluación de Solventes Verdes.....	63
6.4.1. Desempeño en la Aplicación.....	64
6.4.2. Destrucción de la Capa de Ozono.....	65
6.4.3. Fuentes Renovables de Materia Prima.....	66
6.5. Ejemplos de clases de Solventes Verdes.....	67
7. Medio Ambiente y efectos en la Salud.....	68
7.1. Medio Ambiente.....	68
7.1.1. Los Solventes y su Comportamiento en el Ecosistema.....	68
7.1.2. Propiedades Físico-Químicas.....	69
7.1.3. Información Ecológica.....	73
7.1.4. Potencial de Formación Fotoquímica de Ozono.....	74
7.1.5. Potencial de destrucción de la capa de Ozono.....	75
7.1.6. Potencial de Calentamiento Global.....	76
7.1.7. Efectos en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.....	77
7.2. Efecto en la Salud.....	77
7.2.1. Los Solventes en el Contexto de la Salud Humana.....	78
7.2.2. Carcinogénesis / Mutagénesis / Tóxicos para la Reproducción Humana - CMR	81
7.2.3. Efectos Neurotóxicos.....	82
7.2.4. Uso del Equipo de Protección.....	84
8. Programas y Organizaciones reguladoras de la Protección a la Salud y al Medio Ambiente.....	87
8.1. Programas Nacionales: NOM y NMX.....	90
9. Conclusiones.....	99
10. Bibliografía.....	100



1. Objetivo

Hacer un recuento de los conceptos importantes de los solventes y sus mercados, sus aplicaciones, sus consecuencias en el medio ambiente y en el medio laboral.

Se revisara la participación del solvente en las aplicaciones como, pinturas, recubrimientos, proceso de extracción, tintas de impresión, adhesivos, productos de limpieza, fármacos, productos agrícolas, higiene personal y otros. Estas aplicaciones tienen afectaciones en el medio ambiente como participantes activos en la formación de VOC colaborando a la destrucción de la capa de ozono o en la contaminación de mantos acuíferos. En el ámbito laboral, las afectaciones pueden ser enfermedades crónicas del sistema respiratorio o afectaciones a la piel o a alguna otra parte del cuerpo por contacto directo.

Se sugerirá parámetros a tomar en cuenta cuando se este haciendo la elección del sistema de solventes para mejorar su acción en el medio ambiente y en el medio laborar. Estas sugerencias técnicas y de seguridad de manejo están basadas en las tendencias actuales que los mercado esta demandando de los productores y con la idea de tener un mejor uso del mismo para los consumidores de los solventes.

2. Introducción.

Dentro de la evolución industrial han existido un sin número de ocasiones en las que el ser humano ha abusado de su poder creativo y de ingenio y ha atentado en contra del medio ambiente provocando un riesgo directo a su propia existencia. Este mismo poder creador, nos ha ayudado a despertar y a tratar de remediar el daño haciendo uso del gran poder regenerador que tiene nuestro maravilloso planeta, nuestra casa.

Sin notarlo y vagamente percibiendo que lentamente hemos ido contaminando nuestra atmósfera con diversos contaminantes que son inofensivos químicamente al ser humano y al planeta en cantidades razonables, pero dado que cada vez tendemos a consumir más per cápita, la industria ferozmente se ha dedicado a producir sin escatimar en los recursos ni estudiar los daños colaterales que esta actividad tendría en nuestro planeta.

Siguiendo el mismo ciclo de ocasiones anteriores, lentamente nos dimos cuenta y más lentamente lo aceptamos y todavía más lentamente estamos tomando acción para corregirlo. Uno de los grandes problemas que siempre han existido es que se han formado muchos intereses económicos alrededor de la manufactura y producción de estos productos que contaminan, consecuentemente antes de poder eliminarlos se toman las acciones adecuadas para que puedan salir los capitales de la industria afectada tratando de que se coordinen las actividades de una manera global asegurando que en realidad se tenga un efecto positivo en el medio ambiente.

Dado que el planeta se ha reducido en sus dimensiones debido a la tecnología y a la industrialización de la actividad humana, será necesario un programa bien definido y perfectamente establecido para que pueda ser llevado en todos los rincones del planeta de tal suerte que el esfuerzo en conjunto logre tener el efecto deseado en la atmósfera.

Aparentemente no se está tomando ninguna acción para remediar el problema creado ya que no sabemos cómo se pudiera hacer, pero lo que si podemos hacer es terminar las actividades que están contaminando el ambiente y dejar al ecosistema se recupere solo como siempre lo ha hecho el planeta. Existen tantas

variables en estos procesos ambientales que es difícil comprender las consecuencias del daño causado y se antoja aventurado afirmar el saber cuánto tiempo tomará a la naturaleza recuperarse de esta, pero ciertamente la acción adecuada que se debe tomar es la que está en nuestras manos, que es eliminar los precursores de la contaminación.

Como se mencionará más adelante y de acuerdo a la EPA (Environmental Protection Agency) el primer y más grande recurso de la contaminación atmosférica es la producción de Electricidad que contribuye con un 30% (en 2015) con los llamados gases "Greenhouse", el segundo precursor de la contaminación a nivel mundial es el Transporte que contribuye con un 26% (en 2015) que son principalmente los autos, camiones, aviones, trenes y barcos y en tercer lugar está la Industria que participa con un 21% (en 2015) e incluye la quema de combustibles para generar energía al igual que los químicos liberados como los solventes que se utilizan de forma industrial, comercial y personalmente.

Para corregir el primero se está haciendo un gran esfuerzo para desarrollar nuevas tecnologías para la producción de Electricidad, en cuanto al segundo participante de la contaminación, se están trabajando en diferentes países para mejorar la calidad de los combustibles y reducir los contaminantes producidos por estos, pero el esfuerzo se antoja insuficiente y claramente se percibe que la única solución es un cambio de tecnología para el transporte para lo cual solamente lo pueden realizar los gobiernos de los países o las empresas involucradas en el mismo segmento de mercado, lo cual no va suceder pronto.

El siguiente sector que más aporta a la contaminación son el sector Industrial el cual incluye a los solventes, en este sector si tenemos la capacidad de participar todos y al reducir y/o eliminar estos contaminantes podríamos ayudar sensiblemente en la mejora del medio ambiente.

3. Solventes.

El solvente muchas veces considerado como un simple medio de reacción, representa en realidad un universo de gran complejidad. Solvente significa la capacidad de disolver alguna sustancia o material permitiendo que las moléculas de esa sustancia o material penetren las moléculas del solvente para realizar un propósito determinado.

Como sabemos el solvente universal es el agua que presenta una química compleja pero al mismo tiempo sencilla siendo el líquido más abundante del planeta.

Para poder determinar la función que va a desempeñar el solvente en una mezcla, debemos entender las fuerzas y los parámetros involucrados en el sistema.

En la mayoría de los sistemas o disoluciones, el solvente tiene un carácter transitorio ya que al final del proceso es retirado, pero se debe tener cuidado al quitarlo para no afectar los resultados deseados o poner en peligro otro sistema en donde se deposite, como podría ser el caso del medio ambiente.

3.1. Definición de Solvente.

La palabra Solvente proviene del latín “solventis”, y se usa comúnmente para designar a una sustancia, orgánica o inorgánica, que tiene el poder de disolver otras sustancias.

Los solventes son compuestos químicos que normalmente se encuentran en estado líquido a temperatura ambiente y presión atmosférica y tiene la propiedad de disolver, suspender o extraer otras sustancias sin modificarlas químicamente.

Una solución está constituida por lo menos por dos componentes: una sustancia denominada soluto, disuelta en otra denominada solvente. Las soluciones se obtienen a partir de la mezcla de componentes sólidos, líquido y/o gaseosos con líquidos. Cuando se mezclan dos sustancias líquidas, por convención, se considera solvente aquella que tiene mayor número de moléculas en la solución.

Al hablar sobre las propiedades de una solución el principal interés recae sobre las propiedades del soluto; por este motivo se elige el solvente en función de la propiedad del soluto que se desea formular.

Se desea que un solvente tenga las siguientes características:

- Aspecto limpio e incoloro;
- Volatilización sin dejar residuos;
- Químicamente inerte;
- Olor suave y agradable;
- Bajo contenido de agua (anhidro);
- Baja toxicidad;
- Biodegradabilidad

3.2. Clasificación.

3.2.1. Clasificación por Composición Química.

Los solventes se pueden dividir en tres grandes clases, que generalmente reciben la denominación de acuosos, no acuosos y orgánicos, y tienen muchos usos en la industria pero su principal función en todos ellos son como transporte y como medio para síntesis químicas. Generalmente se clasifican a los solventes orgánicos de acuerdo con el grupo funcional de la molécula: alcoholes, cetonas, ésteres, éteres, éter glicoles, aminas, hidrocarburos aromáticos, alifáticos, ciclo-alifáticos, halogenados o nitrados y terpenos. La presencia de un determinado grupo indica los tipos de interacciones fisicoquímicas que pueden ocurrir entre el soluto y el solvente.

Entre los solventes no acuosos se encuentran sustancias inorgánicas y algunos compuestos de carbón de bajo peso molecular como ácido acético, metanol y dimetilsulfóxido. Los solventes no acuosos en condiciones estándar de presión y temperatura pueden ser sólidos (por ejemplo el LiI fundido), líquidos (H_2SO_4), o gaseosos (NH_3). El ioduro de sodio cuando esta fundido (NaI) tiene propiedades de solvente, mientras que el amoniac (NH₃) solo actúa como solvente en estado líquido.

3.2.1.1. Solventes Hidrocarburos Alifáticos.

Las moléculas de los hidrocarburos están constituidas exclusivamente por átomos de carbono e hidrógeno que forman cadenas y dependiendo de las estructuras de estas cadenas, se puede clasificar a los hidrocarburos en aromáticos o alifáticos.

Los hidrocarburos alifáticos no presentan un anillo aromático; se pueden clasificar como cíclicos o acíclicos (o como hidrocarburos de cadena cerrada o abierta), lineales o ramificados y saturados o insaturados.

Los hidrocarburos alifáticos lineales tienen una única cadena de átomos de carbono dispuestos de forma tal que cada uno de ellos está unido a, como máximo, otros dos átomos de carbono. Los hidrocarburos alifáticos ramificados tienen en uno o más puntos de la cadena carbonada un átomo de carbono unido a tres o cuatro átomos de carbono.

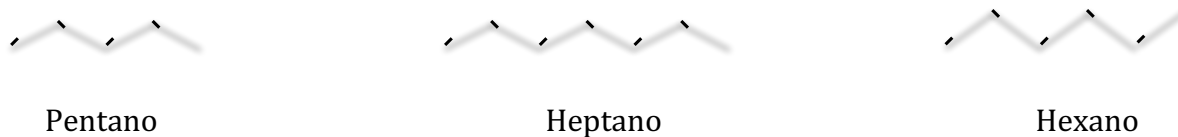


FIGURA 3.1. Ejemplos de hidrocarburos lineales.

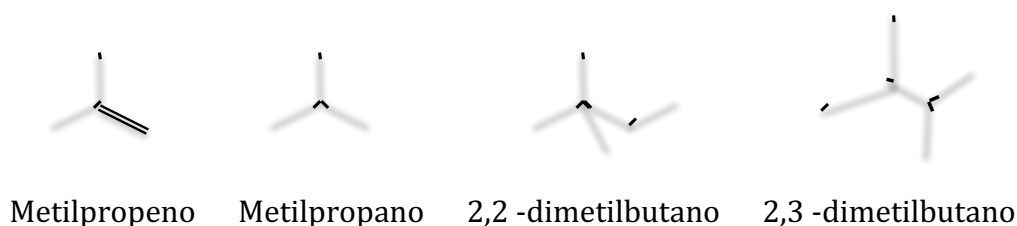


FIGURA 3.2. Ejemplo de hidrocarburos ramificados.

Los hidrocarburos alifáticos cíclicos o de cadena cerrada tienen una cadena carbonada, en la que los átomos de carbono se unen entre sí formando un ciclo. La estructura de los hidrocarburos acíclicos o de cadena abierta, por el contrario, no presentan ciclos.



Ciclohexano

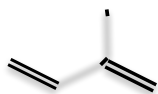
3-metilciclopenteno

1-metil-4-(1-metiletenil)-ciclohexeno

FIGURA 3.3. Ejemplos de hidrocarburos cíclicos



Acetileno



isopreno



n-heptano

FIGURA 3.4. Ejemplo de hidrocarburos acíclicos.

La estructura de los hidrocarburos saturados, que también reciben el nombre de alcanos, está compuesta por uniones simples solamente. Los hidrocarburos insaturados tienen por lo menos una unión doble o triple entre sus átomos de carbón. Los hidrocarburos que tienen uniones dobles se denominan alquenos u olefinas y los que tienen uniones triples se denominan alquinos.



Ciclohexano



2,2-dimetilbutano

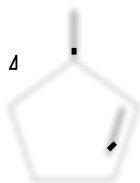


n-hexano

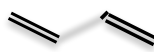
FIGURA 3.5. Ejemplos de hidrocarburos saturados



Acetileno



3-metilciclopenteno



butadieno



1-metil-4-(1-metiletenil)-ciclohexeno

FIGURA 3.6. Ejemplos de hidrocarburos insaturados

La estructura de la cadena carbonada no define solamente la clasificación de la molécula, si no también sus propiedades físicas y de reactividad.

3.2.1.2. Solventes Hidrocarburos Aromáticos.

Los hidrocarburos aromáticos tienen una estructura especial, el anillo aromático llamado anillo bencénico.

En esta estructura plana los electrones que forman las uniones " π " que significa que los electrones en el interior del anillo están desplazados sobre las seis uniones del anillo y le confieren a la molécula una estabilidad adicional. Esta característica también se conoce como resonancia. La distancia entre los seis átomos de carbón que forman el anillo es la misma y tiene un valor intermedio entre la distancia equivalente a una ligadura simple y una doble, lo que demuestra que no se trata de ligaduras simples y dobles distintas. Por este motivo el anillo bencénico también se representa por medio de un hexágono con un círculo concéntrico, que representa las tres uniones " π " desplazadas.

Los hidrocarburos aromáticos no tienen enlaces fuertes polares, lo que les confiere propiedades físicas semejantes a las de los demás hidrocarburos.

También son prácticamente inmiscibles en agua, por lo tanto cuando se mezcla un hidrocarburo aromático con agua se forman dos fases, de las cuales la superior (de menor densidad) es orgánica y la inferior (de mayor densidad), acuosa. Los hidrocarburos aromáticos tienden a ser solubles entre sí y con los demás hidrocarburos en cualquier relación y tienden a solubilizar otros compuestos no polares. Todos los compuestos con estructura de anillo bencénico tienen por lo menos seis átomos de carbón y por consiguiente son líquidos o sólidos a temperatura y presión ambiente.

La reactividad de los hidrocarburos aromáticos se encuentra entre la de los alcanos y la de los alquenos. Los compuestos aromáticos, a pesar de que tienen dobles ligaduras como los alquenos, no tienen la misma reactividad. Los hidrocarburos aromáticos, que no tienen ninguna otra función en la molécula, son más resistentes a la reducción y la oxidación que los alquenos, no sufren reacciones de adición tan fácilmente como los alquenos y prácticamente no intervienen en reacciones de polimerización. Son resistentes a las bases, incluso las fuertes.

3.2.1.3 Solventes Oxigenados.

Se consideran compuestos oxigenados a aquellos formados por carbón e hidrógeno, pero que en su molécula contienen por lo menos un átomo de oxígeno. Esta clasificación bastante general engloba una serie de funciones químicas que difieren entre sí por la forma en que el átomo de oxígeno está unido a la estructura de la molécula. Más adelante se tratará de las moléculas que tienen otros elementos además de carbón, hidrógeno y oxígeno. Con relación a la estructura carbonada se puede adoptar las mismas clasificaciones utilizadas para los alcanos, es decir, un compuesto puede ser alifático o aromático, si es alifático puede ser ramificado o lineal, cíclico o acíclico y saturado o insaturado.

La presencia de un átomo de electronegatividad elevada (oxígeno) deja a la molécula más susceptible a las interacciones del tipo dipolo-dipolo inducido y dipolo-dipolo, incluso enlaces por puente de hidrógeno; este efecto no se observa en los hidrocarburos. Las propiedades químicas, como la reactividad de la molécula, están determinadas básicamente por la función a la que pertenece la molécula. Por otro lado, las características fisicoquímicas, como la miscibilidad y la polaridad, están determinadas por la función química a la que pertenece la molécula y también por la relación entre el número de grupos funcionales presentes y el tamaño de la cadena carbonada.

La forma de unión del oxígeno con la cadena carbonada determina la función a la que pertenece la molécula y cuáles serán sus características químicas. Un átomo de oxígeno forma dos tipos de enlaces químicos, es decir, que se puede unir simultáneamente a dos átomos de carbón, a un único átomo de carbón por medio de una doble ligadura, o a un átomo de carbón y cualquier otro átomo que puede ser por ejemplo el hidrógeno.

ALCOHOLES, ETHERES Y CARBONILOS

Los alcoholes son compuestos que tienen un hidroxilo unido a una cadena carbonada alifática, es decir, que en la molécula hay un oxígeno unido a un átomo de hidrógeno y a un átomo de carbón que pertenece

a la cadena alifática. Dependiendo del carbón al que está unido el hidroxilo, los alcoholes se clasifican en primarios, secundarios y terciarios. Los alcoholes que tienen dos hidroxilos unidos a la cadena alifática se denominan dióles o más comúnmente glicoles.

Debido a la polaridad de la unión O-H las fuerzas intermoleculares del tipo dipolo-dipolo son tan intensas que se forman enlaces por puentes de hidrógeno, por eso todos los alcoholes son líquidos o sólidos; incluso el metanol, cuya masa molar es 32 es líquido a temperatura y presión ambiente.

Los éteres tienen un átomo de oxígeno unido a dos diferentes átomos de carbón; como en su molécula no tienen la unión O-H tienden a ser poco polares. La miscibilidad de los éteres en agua es baja, incluso para los de cadena corta, y el punto de ebullición más abajo que el de los alcoholes de la misma masa molar.

Los carbonilo son moléculas que tienen dos átomos de oxígeno unidos a un mismo átomo de carbón. Cada átomo de oxígeno puede estar unido a otro átomo de carbón o a un hidrógeno, en este caso la molécula se llama carboxilo.

Los carbonilo, del mismo modo que los éteres, no tienen la capacidad de formar enlaces de puente de hidrógeno, en consecuencia su miscibilidad en agua es más baja que la de los alcoholes de la misma masa molar. Los carbonilo son líquidos a temperatura y presión ambiente; si la masa molar es elevada pueden ser sólidos.

3.2.1.4. **Solventes Halogenados.**

Los compuestos halogenados y órgano-halogenados están constituidos por carbono, hidrogeno y por lo menos un átomo de un halógeno unido a la cadena carbonada. A pesar de que poseen elementos bastante electronegativos no presentan uniones entre el hidrógeno y el halógeno y, por consiguiente, no se forman enlaces por puente de hidrógeno.

Las interacciones moleculares son del tipo dipolo-dipolo, excepto en las moléculas completamente simétricas como el tetracloruro de carbono.

Los compuestos organohalogenados de baja masa molecular son gases, por ejemplo, algunos CFCs (clorofluorocarbonos); los de masa molecular más alta son líquidos, generalmente muy poco miscibles en agua. Al mezclar órgano-halogenados líquido y agua se forman dos fases, la inferior orgánica y la superior acuosa, ya que estos compuestos son más densos que el agua. La reactividad de los órgano-halogenados depende básicamente del halógeno unido a la cadena de carbón. Los organoiodados y los organobromados son bastante reactivos y se usan con frecuencia como intermediarios en síntesis orgánicas; raramente se usan como solvente. La reactividad de los órgano-halogenados depende básicamente del halógeno unido a la cadena de carbón.

Los organofluorados, por el contrario, son extremadamente inertes. Desde el punto de vista de la reactividad química, en condiciones normales de temperatura y presión, los organofluorados tienen un comportamiento semejante al de los alcanos.

Los organoclorados también son relativamente inerte; son relativamente resistentes a agentes oxidantes y ácidos, pero son bastante sensibles a agentes reductores y principalmente bases.

Una característica de los organohalogenados totalmente sustituidos (sin hidrógeno en la molécula), como el tetracloruro de carbono o el tetracloroetileno, es la resistencia a la combustión. Es más, algunos compuestos como el bromotrifluorometano o el bromoclorodifluorometano actúan como extintores de llamas.

3.2.1.5. Solventes Nitrogenados y Sulfurados.

El uso como solvente de compuestos nitrogenados (que contienen nitrógeno en su molécula) y azufrados (que contienen azufre) es mucho más estricto que el de los hidrocarburos y los compuestos oxigenados, por ello aquí se van a describir apenas los compuestos que puedan tener un uso significativo como solvente.

Los compuestos nitrogenados que se pueden utilizar como solventes son aminas, amidas, nitrilos y nitrocompuestos. Las aminas tienen por lo menos un átomo de nitrógeno unido a un átomo de carbón

saturado. En las amidas el nitrógeno está unido a un grupo carbonilo. Los nitrilos tienen por lo menos un átomo de nitrógeno unido a un átomo de carbón con ligaduras triples. Los nitroalcanos tienen un átomo de nitrógeno unido a un átomo de carbón y a dos átomos de oxígeno.

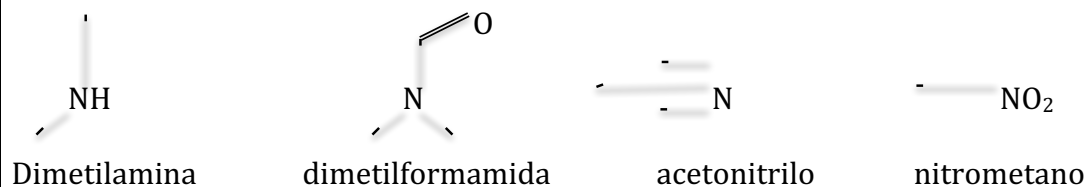


FIGURA 3.8. Ejemplo de amina, amida, nitrilo y nitroalcano.

Entre los compuestos sulfurados utilizados como solventes se pueden mencionar los sulfoxidos (especialmente el dimetilsulfóxido) y las sulfonas (especialmente el sulfolano). Las moléculas de los sulfóxidos tiene un átomo de azufre unido a dos átomos de carbón distintos y a un átomo de oxígeno por una doble ligadura. La molécula de las sulfonas tiene la misma estructura con un oxígeno más unido al azufre por una doble ligadura.



FIGURA 3.9. Ejemplo de sulfona y sulfoxido

Los compuestos nitrogenados y los sulfurados en general no son muy reactivos, es decir que su uso como solvente queda restringido a algunas aplicaciones específicas que requieren propiedades especiales. El dimetilsulfóxido, el sulfolano, la dimetilformamida y la dimetilacetamida son solventes polares apróticos (solventes polares próticos y apróticos se definen más adelante en la sección 3.2.3.2 de este mismo capítulo).

3.2.2. Clasificación de los Solventes en Función de su Carácter Ácido-Base.

Teoría ácido-base de Brønsted-Lowry

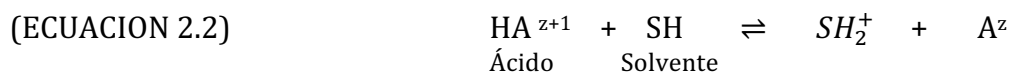
Según la teoría de Brønsted-Lowry, los ácidos ceden protones y las bases los aceptan, lo que se expresa mediante la ecuación de equilibrio siguiente:



donde Z=0,+/-1..... Ácido Base Conjugada

La mayoría de los solventes tienen propiedades ácidas o básicas y su basicidad o acidez depende del medio en el que esta disueltos.

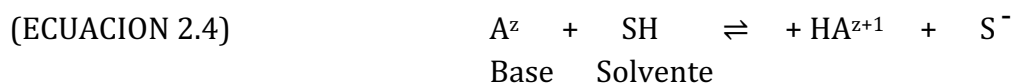
El equilibrio que representa la ecuación 2.2 se establece cuando un ácido HA se disuelve en un solvente básico SH.



La fuerza del ácido HA en el solvente SH está indicada por la constante de acidez Ka como se observa en la ecuación (2.3).

$$(ECUACION 2.3) \quad K_a = \frac{[SH_2^+][A^z]}{[HA^{z+1}]}$$

En un solvente ácido SH el equilibrio ácido-base está representado por la ecuación (2.4)



El aumento de la basicidad o acidez del solvente desplaza el equilibrio (2.2) y (2.4) hacia la derecha en los dos casos.

Los solventes auto ionizables tienen ambas características, ácida y básica (por ejemplo el agua) y son denominados solventes anfipróticos; por el contrario los solventes apróticos no son auto ionizables (por ejemplo hidrocarburos alifáticos, tetracloruro de carbón, etc.).

Brønsted estableció en su tratado "Acid-Base behavior in inert Organic Solvents" esta clasificación y distinguió cuatro tipo de solvente de acuerdo con su acidez o basicidad. M.M.Davies en su libro "The

Chemistry of nonaqueous Solvent Systems” amplió la clasificación de Brönsted y subdividió los solventes en ocho clases de acuerdo con los valores de su constante dialéctica (mayores o menores que 20 -La constante dieléctrica es una relación de la permitividad entre dos materiales y por lo tanto es adimensional). I.M.Kolthoff propuso en “Solvent effect in organic Chemistry” una clasificación más simplificada, la que se presenta en la Tabla 2.1

Tabla 2.1

Clasificación de los solventes orgánicos en función de su carácter Ácido-Base				
Clasificación del solvente		Acidez relativa	Basicidad relativa	Ejemplos
	Neutro	+	+	H ₂ O, CH ₃ OH,(CH ₃) ₃ COH,HOCH ₂ CH ₂ OH
Anfipróticos	Protogénico	+	-	H ₂ SO ₄ , HCOOH, CH ₃ COOH
	Protófilico	-	+	NH ₃ , HCONH ₂ , CH ₃ CONHCH ₃ , H ₂ N-CH ₂ CH ₂ -NH ₂
	Dipolar protófilico	-	+	HCON(CH ₃) ₂ , CH ₃ SOCH ₃ , Piridina, 1,4-dioxano, (C ₂ H ₅) ₂ O, Tetrahidrofurano
Apróticos	Dipolar protofóbico	-	-	CH ₃ CN, CH ₃ COCH ₃ , CH ₃ NO ₂ , C ₆ H ₅ NO ₂ , Sulfolano
	Inerte	-	-	Hidrocarburos alifáticos, C ₆ H ₆ , Cl-CH ₂ -Cl, CCl ₄

El agua es un prototipo de un solvente anfiprótico y todos los solventes que tienen propiedades ácido-base similares se denominan solventes neutros. Los solventes con alta acidez y baja basicidad en referencia a el agua se denominan solventes protogénicos; los solventes con alta basicidad y baja acidez con respecto al agua se denominan solventes protófilicos.

A partir de la ecuación (2,2) se podría deducir que la ionización de un ácido depende de la basicidad del solvente; sin embargo la ionización de un ácido no depende únicamente de la basicidad del solvente sino también de su constante dieléctrica y de su capacidad de solvatación. La basicidad o acidez de los solventes va a determinar la capacidad de ionización de los solutos. Por ejemplo, el ácido hipocloroso se ioniza totalmente en metanol mientras que el ácido nítrico se ioniza parcialmente.

Se han elaborado varias escalas de acidez y basicidad para el agua y otros solventes; sin embargo no hay una escala simple que se pueda usar para todos los solventes y se aplique para describir condiciones de equilibrio y cinética.

La acidez o la basicidad de los solventes se pueden medir de diferentes formas. Además de los métodos experimentales para determinar las constantes de equilibrio ácido-base, se puede medir la acidez o basicidad de una sustancia por medio de la variación de alguna propiedad física (infrarrojo, espectroscopia ultravioleta-visible o espectroscopia de Resonancia Magnética Nuclear-RMN) de una molécula, de un sustrato estándar cuando se transfiere de un solvente de referencia a otro.

Teoría acido-base de Lewis

(Acidity Functions. R.H. Boyd)

Según la teoría de Lewis los ácidos tienen la propiedad de aceptar pares de electrones (EPA="electron pair acceptor") y las bases, de cederlos (EPD "electron pair donor"), lo que se puede representar por medio de la siguiente ecuación de equilibrio (2.5).

(ECUACION 2.5)

En función de su composición química y de los compuestos del medio de reacción se pueden clasificar a los solventes como EPD o EPA. Sin embargo, no se puede englobar a todos los solventes en esas dos clases, por ejemplo los hidrocarburos alifáticos no tienen propiedades EPD y EPA. Un solvente EPD disuelve preferentemente iones o moléculas aceptores de pares de electrones y lo contrario ocurre con los solventes EPA.

Pearson propuso una extensión de la clasificación ácido-base de Lewis incluyendo una subdivisión en dos grupos, fuertes y débiles, de acuerdo con su electronegatividad y su polarizabilidad, a lo denominado HSAB (Hard and Soft Acid and Bases).

Los ácidos "Fuertes" (por ejemplo H^+ , Li^+ , Na^+ , BF_3 , $AlCl_3$, HX) y las bases "Fuertes" (por ejemplo F^- , Cl^- , HO^- , RO^- , H_2O , ROH , R_2O , NH_3) están constituidos por átomos pequeños con alta electronegatividad y generalmente baja polarizabilidad.

Los ácidos "Débiles" (por ejemplo Ag^+ , Hg^+ , I_2 , 1,3,5-trinitrobenzeno) y las bases "Débiles" (por ejemplo H^- , I^- , R^- , RS^- , RSH , R_2S , alquenos, C_6H_6) generalmente están constituidos por átomos grandes con baja electronegatividad y normalmente son polarizables.

La ventaja de esta clasificación es que permite explicar la estabilidad del complejo ácido-bases de Lewis: ácidos Fuertes y Débiles se combinan preferentemente con bases Fuertes y Débiles respectivamente. Este concepto HSAB permite describir varios fenómenos desde un punto de vista cualitativo y se utiliza ampliamente en la química orgánica.

La aplicación del concepto HSAB para las soluciones lleva a la regla de que los solutos fuertes se disuelven en solventes fuertes y los solutos débiles se disuelven en solventes débiles, en concordancia con la regla de "Dedo pulgar" lo igual disuelve lo igual (de acuerdo con artículo "The Lewis acid-base definitions: a status of report" by WB Jansen-Chemical Reviews 1978 – ACS Publications).

3.2.3. Clasificación de Solventes en Función de la Interacción Soluta-Solvente.

Una solución es una mezcla homogénea a nivel molecular o iónico de dos o más sustancias puras que no reaccionan entre sí, cuyos componentes se encuentran en proporciones variables. También se puede definir como una mezcla homogénea formada por un solvente y por uno o más solutos. Esto significa que si tomamos una porción de la solución (alícuota), la proporción (o concentración) de la mezcla en cada

alícuota debe ser la misma que en la solución. Estas relaciones con respecto al todo se llaman concentraciones.

Cuando una sustancia (solute) se disuelve en un solvente o mezcla de solventes, las fuerzas de atracción entre las moléculas del soluto disminuyen porque las moléculas del solvente penetran entre las moléculas del soluto y lo envuelven aislando cada molécula del soluto. Este proceso se denomina solvatación y ocurre a nivel molecular.

La fuerza de solvatación y el número de moléculas de solvente en la capa de solvatación depende de la solubilidad, el momento dipolar, los enlaces de hidrógeno, la polarizabilidad y el tamaño de la molécula del soluto y del solvente.

En las soluciones acuosas las moléculas polares del agua interactúan con las moléculas del soluto solventándolas. Si las uniones entre las moléculas del soluto son lo suficientemente débiles se podrá romper por acción de la fuerza eléctrica de atracción de las moléculas del agua a las moléculas del soluto.

Cuando ocurre esto las moléculas de soluto se denominan iones solvatados. En algunos casos el proceso de ionización puede ser casi completo mientras que en otros ocurre de manera limitada. Las moléculas de soluto de la solución que no fue ionizada están solvatadas y se llaman no electrolito. En estas soluciones, como no hay iones, tampoco hay conducción de corriente eléctrica.

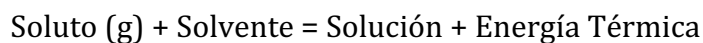
Las soluciones en las que las moléculas se ionizaron durante el proceso de solución se llaman electrolitos y conducen la energía eléctrica debido a la presencia de iones.

Transferencia de Energía en la Formación de las Soluciones.

Cuando se forman las soluciones, las moléculas del solvente rodean las moléculas del soluto; en este proceso de solvatación hay una cierta cantidad de energía térmica. Algunas soluciones absorben energía, en este caso se puede decir que tienen un calor o entalpia de solución endotérmica. La mayoría de las soluciones acuosas con solutos sólidos o líquidos, tienen calor de solución endotérmico.



Cuando se forman soluciones de solutos gaseosos en agua se libera energía térmica, entonces se dice que su calor de solución es exotérmico.



La entalpía de solución, entalpía de disolución o calor de disolución es el cambio de entalpía asociado a la disolución de una sustancia en un solvente a presión constante.

El término de la entalpía de solución se relaciona con la intensidad relativa de las fuerzas intermoleculares (puentes de hidrógeno, fuerzas de Van der Waals: dispersión de London y dipolo-dipolo generalmente) entre las moléculas de soluto y de solvente. Dado un soluto S y un solvente D, si la intensidad de las fuerzas S-D son mayores que las que se establecen entre las moléculas de soluto S-S y de solvente D-D, la entalpia de disolución es negativa.

El calor de solución es una de las tres dimensiones del análisis de solubilidad. Se expresa más frecuentemente en kJ/mol a temperatura constante. El calor de solución de una sustancia está definido como la suma de la energía absorbida, o energía endotérmica (expresada en kJ/mol "positivos"), y la energía liberada, o energía exotérmica (expresada en kJ/mol "negativos").

Por ejemplo, debido a que el calentamiento disminuye la solubilidad de un gas, la disolución de los gases es exotérmica. Consecuentemente, al disolverse un gas en un solvente líquido, la temperatura disminuye, mientras que la solución continúa liberando energía. Éste es un efecto del incremento en el calor o de la energía requerida para atraer a las moléculas de soluto y solvente —en otras palabras, esta energía supera a la energía requerida para separar a las moléculas del solvente. Cuando el gas está disuelto completamente (eso es puramente teórico dado que ninguna sustancia puede disolver infinitamente)— el calor de solución estará al máximo.

El proceso de disolución puede verse, termodinámicamente, como si consistiera en tres etapas:

- Ruptura de las atracciones soluto-soluto (endotérmica), por ejemplo la energía reticular en el caso de las sales.
- Ruptura de las atracciones solvente-solvente (endotérmica), por ejemplo el enlace de

hidrógeno en el agua.

- Formación de atracciones solvente-soluto (exotérmica), en la solvatación.

El valor del cambio de entalpía global es la suma de los cambios de entalpía individuales de cada paso. Por ejemplo, al disolver nitrato de amonio en agua descenderá la temperatura del agua (la solvatación no compensa el gasto de energía en romper la estructura cristalina), mientras que el agregar hidróxido de potasio a agua aumentará la temperatura del sistema.

Las soluciones con calores negativos de solución forman enlaces fuertes y tienen presiones de vapor bajas.

Cuando se utiliza una mezcla de solventes para disolver un material, las sustancias orgánicas empleadas en la mezcla se clasifican como:

- Solventes Activos
- Solventes Latentes (o Co solventes)
- Diluyentes

3.2.3.1. **Solvente Activo.**

Los solventes activos son los que disuelven propiamente el material (una resina por ejemplo). Generalmente son sustancias polares como ésteres y cetonas. Funcionan formando puentes de hidrógeno (con los pares de electrones no compartidos del oxígeno) o fuerzas dipolo-dipolo con el soluto.

3.2.3.2. **Solvente Latente (o Co Solvente)**

Los solventes latentes o co solventes son generalmente alcoholes. No disuelven por sí mismo el material pero aumentan el poder disolvente del solvente activo.

3.2.3.3. Diluyente.

Los diluyentes, casi siempre hidrocarburos aromáticos y alifáticos, se emplean generalmente para reducir la viscosidad del sistema, aunque en ocasiones pueden contribuir a la disolución del material.

Los solventes y los solutos se pueden clasificar, de una manera más amplia, en Polares (hidrofílicos) y no polares (lipofílicos). La polaridad se puede medir como la constante dieléctrica o el momento dipolar de un compuesto. La polaridad de un solvente determina qué tipo de compuesto puede disolver y con que otros solventes o compuestos líquidos es miscible.

La polaridad de las moléculas del soluto y del solvente influyen en la solubilidad. Generalmente, y como se mencionó anteriormente, las moléculas de soluto polares se disuelven en solventes polares y las no polares, en solventes no polares. Cuando la solución está formada por un soluto y un solvente polares las fuerzas de atracción resultantes son denominadas fuerzas dipolo-dipolo. Este es un tipo de fuerza intermolecular diferente de las denominadas fuerzas de dispersión o de London, en las que la carga nuclear efectiva de los átomos de la molécula de soluto interactúan con los electrones de los átomos de la molécula del solvente. Este tipo de interacción se encuentra en las soluciones con solventes no polares.

Solventes Polares Próticos.

Los solventes polares próticos son compuestos que tienen un átomo de hidrógeno unido a un átomo electronegativo (F-H, -O-H, -N-H, etc) y pueden formar puentes de hidrógeno. Debido a ello estos solventes tienen elevada capacidad de solvatar aniones. Con excepción del ácido acético y sus homólogos, la constante dieléctrica (ϵ) es mayor que 15 (constante que es una relación por lo que es adimensional). Entre los solventes de esta clase podemos citar el agua, el amoníaco, los alcoholes, los ácidos carboxílicos y las amidas primarias,

Solventes Dipolares Apróticos.

El valor de la constante dieléctrica es mayor a 15 ($\epsilon > 15$) y del momento dipolar ($\mu > 8 \cdot 3 \cdot 10^{-30}$ C . m) de los solventes dipolares apróticos es alto. Estos solventes no forman enlaces por puente de hidrógeno porque las uniones C-H de la molécula no están suficientemente polarizadas; sin embargo son buenos solventes EPD (electron pair donors) y en consecuencia tienen el poder de solvatar cationes. Entre los principales solventes dipolares apróticos se puede citar: acetona, acetato de etilo, acetonitrilo, benzonitrilo, 1-metil-2-pirrolidona, nitrobenzono, carbonatos cíclicos como carbonato de propileno y sulfolanos.

Solventes No Polares Apróticos.

Los solventes no polares apróticos se caracterizan por tener baja constante dieléctrica ($\epsilon < 15$), bajo momento dipolar ($\mu < 8 \cdot 3 \cdot 10^{-30}$ C . m) y por no formar enlaces por puente de hidrógeno. Estos solventes interactúan poco con el soluto, apenas por acción de fuerzas de inducción y dispersión. Entre los solventes de esta clase podemos citar a los hidrocarburos alifáticos y aromáticos y sus derivados halogenados, las aminas terciarias y el bisulfuro de carbono.

Constante dieléctrica y momento dipolar.

La constante dieléctrica y el momento dipolar son propiedades complementarias de una sustancia. Con frecuencia se utilizan ambas constantes físicas para caracterizar su polaridad, aunque el momento dipolar no representa la polaridad de un disolvente. Cuando se quiere decir que *una molécula es polar*, se quiere decir que tiene un elevado momento dipolar. Sin embargo, cuando se dice que *un disolvente es polar*, significa que tiene una elevada constante dieléctrica. En otras palabras, la polaridad de un disolvente o constante dieléctrica, es una propiedad macroscópica (a nivel macroscópico), mientras que la polaridad molecular o momento dipolar es una propiedad de moléculas aisladas.

Aunque la polaridad de un disolvente depende de muchos factores, puede definirse como su capacidad para solvatar y estabilizar cargas. Como punto de referencia, empiezan a considerarse polares aquellos disolventes que poseen una constante dieléctrica (ϵ) superior a 15.

Se define como **momento dipolar** (μ) a la medida de la intensidad de la fuerza de atracción entre dos átomos. Es la expresión de la asimetría de la carga eléctrica en un enlace químico. Está definido como el producto entre la distancia "d" que separa a las cargas (longitud del enlace) y el valor de las cargas iguales y opuestas en un enlace químico:

$$\text{ECUACION 2.6} \quad \mu = q \cdot d$$

Usualmente se encuentra expresado en Debyes ($1 \text{ D} = 1 \text{ A} \cdot 1 \text{ ues}$). El valor de q puede interpretarse como el grado de compartición de la carga, es decir, según las diferencias de electronegatividad, que porcentaje ($100q$) de la carga compartida por el enlace covalente está desplazada hacia la carga en cuestión. Dicho de otro modo, q representa qué parte de un electrón está siendo "sentida" de más o de menos por las cargas en cuestión.

Esa clasificación no es absoluta porque hay varios solventes que no se pueden clasificar en ninguno de estos tres grupos, por ejemplo, éteres, ésteres carboxílicos, aminas primarias y secundarias y amidas N-mono insaturadas con N-metilacetamida, sin embargo es predominante con relación a la solvatación de los iones.

Los solventes polares próticos solvatan aniones; esta característica es más pronunciada cuando mayor es la densidad de carga (relación de carga-volumen) del anión que se va a solvatar y consecuentemente su fuerza según el concepto de HSAB.

3.2.4. CLASIFICACION DE SOLVENTE POR CONSTANTE FISICA

Se puede caracterizar las propiedades de un solvente por medio de las siguientes constantes físicas:

- Punto de fusión o de ebullición
- Presión de vapor

- Calor de vaporización
- Punto de Inflamabilidad
- Índice de refracción
- Densidad
- Viscosidad
- Tensión superficial
- Momento dipolar
- Constante dieléctrica
- Polarización
- Conductividad específica

Parámetro de solubilidad

El parámetro de solubilidad (δ) proporciona una estimación cuantitativa del grado de interacción entre materiales. El parámetro de solubilidad refleja la energía cohesiva de un material. Materiales con valores de δ similares tienden a ser miscibles. Es por lo tanto ampliamente utilizado en ciencia y en aplicaciones prácticas al buscar un disolvente adecuado. Existen varias aproximaciones para la estimación del δ , que han dado lugar a la definición de diferentes parámetros de solubilidad, entre los cuales destacan el parámetro de solubilidad de Hildebrand y el parámetro de solubilidad de Hansen. Sus unidades suelen venir dadas en $(\text{cal}/\text{cm}^3)^{1/2}$ o $\text{MPa}^{1/2}$

Relación con la energía libre de solución.

Para que cualquier proceso con implicaciones termodinámicas se lleve a cabo la energía libre de Gibbs (ΔG) ha de ser negativa:

ECUACION 2.7
$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \leq 0$$

La variación de entropía, ΔS en un proceso normal de miscibilidad es normalmente positivo, por lo que el término entrópico siempre contribuirá a la disolución. Es por eso que el término entálpico ΔH , ha de ser

lo más bajo posible. Así por ejemplo para la mezcla agua-aceite el valor ΔH es muy grande haciendo de ΔG un valor positivo, y por lo tanto una mezcla insoluble en condiciones normales.¹

De esta manera teniendo en cuenta la relación:

ECUACION 2.8
$$\Delta H = v_1 v_2 (\delta_1 - \delta_2)^2$$

donde v se refiere a la fracción de volumen y los subíndices 1 y 2 al disolvente y soluto respectivamente.

Cuando $\delta_1 \approx \delta_2$ la variación de energía libre de Gibbs se acercará a un valor negativo.

Parámetro de solubilidad de Hildebrand

Tras el desarrollo de la teoría de las disoluciones regulares, Hildebrand propuso la relación del parámetro de solubilidad con la energía cohesiva de las moléculas a su vez identificada con la energía de vaporización de la siguiente manera:

ECUACION 2.9
$$\delta = \left(\frac{\Delta E}{V} \right)^{1/2} = \left(\frac{\Delta H - RT}{M/\rho} \right)^{1/2}$$

donde:

- δ = parámetro de solubilidad.
- ΔE = energía de vaporización.
- V = volumen molar.
- ΔH = calor latente de vaporización.
- R = constante de los gases.
- T = temperatura.
- M = masa molecular.
- ρ = densidad.

Esta ecuación implica que la energía cohesiva es aquella necesaria para separar una unidad de volumen de moléculas de sus vecinas hasta una separación infinita, a modo de gas ideal. La propuesta de Joel H. Hildebrand supone que materiales con una capacidad determinada de "separarse" de ellos mismos semejante tenderán a ser miscibles.

Ejemplos

Parámetros de solubilidad		
Sustancias	δ	δ (SI)
n-Pentano	7,0	14,4
n-hexano	7,24	14,9
n-pentano	7,4	
Dietil Eter	7,62	15,4
Acetato de etilo	9,1	18,2
Cloroformo	9,21	18,7
Diclorometano	9,93	20,2
Acetona	9,77	19,7
2-propanol	11,6	23,8
Etanol	12,9	26,2
Metanol	14,5	
Benceno	9,15	26,2
PTFE	6,2	
Polietileno	7,9	
Polipropileno	8,2	16,6
Poliestireno	9,13	
Poli(óxido de fenileno)	9,15	
PVC	9,5	19,5
PET	10,1	20,5
Nailon 6,6	13,7	28
Poliacrilonitrilo	15,4	
Polimetilmetacrilato	9,3	19,0
Hidroxietilmetacrilato	25-26	
poli(HEMA)	26,9	
Etilenglicol	29,9	

TABLA 2.1.1

Teniendo en cuenta la definición anterior, un ejemplo es el cálculo del parámetro de solubilidad del n-heptano a partir de los datos de su calor de vaporización (8700 cal), su densidad (0,68 gcm⁻¹) y su peso molecular (100 g mol⁻¹) como sigue: $\delta = 0,68 \times (8700 - 2 \times 298) / 100 = 7,4 \text{ cal cm}^{-3}$

De la tabla 2.1.1 se deduce, según lo comentado más arriba, que por ejemplo teniendo el poliestireno $\delta = 9,1 \text{ cal}^{1/2}\text{cm}^{3/2}$ tiene al benceno y al acetato de etilo como buenos disolventes. Por la misma razón la acetona disuelve bien al poliestireno. De la misma manera buenos disolventes para el polietileno son el hexano y el dietil éter. Sin embargo ni el n-pentano disuelve al PTFE ni el etanol o el metanol disuelven al Nailon 6,6. Esto se debe a las limitaciones del parámetro de solubilidad de Hildebrand que no da detalle

de porqué algunas sustancias presentan una determinada energía cohesiva, englobando todos los fenómenos bajo la energía de vaporización.

Limitaciones

Como se ha comentado en el epígrafe anterior el parámetro de solubilidad presenta ciertas limitaciones al englobar todos los fenómenos causantes de la cohesividad molecular bajo el efecto en su energía de vaporización. De esta manera se dan casos en los que materiales con semejante entalpías de vaporización presentan muy diferentes afinidades químicas debido a su estructura molecular y a la naturaleza de las interacciones intermoleculares.

Es por este motivo que en muchos casos el parámetro de solubilidad de Hildebrand no logra predecir la solubilidad de ciertas sustancias con alto momento dipolar o altamente asociadas por puentes de hidrógeno. Es por ello que Hildebrand empleó el término "disoluciones regulares" para referirse a sustancias con polaridad moderada.

Para describir el parámetro de solubilidad en función de la naturaleza de las interacciones intermoleculares que dan lugar a la cohesividad, Hansen propuso una modificación del parámetro de Hildebrand, subdividiéndolo en cohesividades originadas por distintas interacciones.

Parámetro de solubilidad de Hansen

El parámetro de solubilidad de Hansen se fundamenta en el hecho que al evaporarse una sustancia todos los enlaces intermoleculares de una sustancia se rompen. Estos incluyen los enlaces no polares o de dispersión, los enlaces polares o dipolo-dipolo los enlaces y de puentes de hidrógeno. Es por ello que Hansen divide el parámetro de solubilidad en tres contribuciones de la siguiente manera:

ECUACION 2.9.1
$$\delta^2 = \delta_d^2 + \delta_p^2 + \delta_h^2.$$

Unidades

- $1 \text{ (MPa)}^{1/2} = 1 \text{ (J cm}^{-3}\text{)}^{1/2} = 2,0455 \text{ cal}^{1/2}\text{cm}^{-3/2}$

En el sistema internacional (S.I) se emplea tanto $(\text{MPa})^{1/2}$, como $(\text{J cm}^{-3})^{1/2}$. El factor de conversión hace que los valores del S.I sean aproximadamente el doble que los dados en $\text{cal}^{1/2}\text{cm}^{-3/2}$.

De acuerdo con el valor del punto de ebullición los solventes se pueden clasificar como bajos, medios y altos (Tabla 2.2). En los procesos de extracción y destilación es importante saber cuál es el punto de ebullición de los solventes, pero en la industria de pinturas y adhesivos es más importante conocer su grado de volatilidad.

Clasificación de los solventes de acuerdo con el punto de ebullición, temperatura de evaporación relativa (T.E.R.) y viscosidad			
PROPIEDADES	BAJA	MEDIA	ALTA
Punto de ebullición a 760 mmHg	< 100 °C	100-150 °C	> 150 °C
T.E.R. *	< 10	10 - 35	> 35
Viscosidad a 20°C	< 2 Cp	2 - 10 Cp	> 10 Cp

* T.E.R. = Tasa de Evaporación Relativa

TABLA 2.2

Como estas características son interdependientes es difícil predecir teóricamente el valor de la tasa de evaporación. En la práctica el tiempo de evaporación de una dada cantidad de solvente se determina experimentalmente usando dietil éter o acetato de butilo a condiciones externas idénticas. La tasa de evaporación relativa (T.E.R.) de los solventes usando el acetato de butilo se puede determinar de acuerdo con la norma ASTM D3539. De acuerdo con el T.E.R. puede clasificar a los solventes en tres grupos: de baja, media y alta volatilidad (Tabla 2.2).

No existe una correlación general entre la tasa de evaporación y el punto de ebullición de los solventes. Si los solventes son de la misma clase química la volatilidad generalmente disminuye con el aumento del

punto de ebullición. Los solventes que tienden a formar enlaces por puentes de hidrógeno (por ejemplo, el agua, alcoholes, amina) son menos volátiles que otros de igual punto de ebullición.

La tasa de evaporación depende de las siguientes propiedades y características:

1. Presión de vapor a la temperatura del proceso
2. Calor específico
3. Entalpía de vaporización
4. Grado de asociación molecular
5. Rapidez de suministro de calor
6. Tensión superficial
7. Masa Molecular del solvente
8. Turbulencia atmosférica
9. Humedad atmosférica.

La densidad y el índice de refracción se emplean para determinar, con algunas restricciones, la pureza del solvente. La densidad de la mayoría de los solventes orgánicos disminuye con el aumento de la temperatura. La densidad relativa de los ésteres y éter glicoles homólogos disminuye con el aumento del peso molecular, pero la de las cetonas y alcoholes aumenta (Tabla 2.3).

El valor del índice de refracción es función de la estructura molecular de la sustancia. En las series homólogas el índice de refracción es mayor a medida que aumenta la longitud de la cadena carbonada y disminuye cuando aumentan las ramificaciones. El índice de refracción aumenta cuando hay estructuras ciclo-alifáticas y aromáticas.

La viscosidad de las series homologas de los solventes aumenta a medida que aumenta el peso molecular.

La viscosidad de los solventes que tienen grupos hidroxilo es mayor debido a la formación de puentes de hidrógeno. La viscosidad del solvente influye sobre la viscosidad de la solución. Los solventes también se pueden clasificar en grupos según su viscosidad ya sea baja, media o alta (Tabla 2.2).

La tensión superficial de los solventes para tintas define la tasa de evaporación la cual es importante para la formación de la superficie de revestimientos o para la mojabilidad de los sustratos y los pigmentos.

Influencia del peso molecular en la densidad relativa de ésteres, éter glicoles, alcoholes y cetonas.			
ÉSTER	d_4^{20}	ALCOHOL	d_4^{20}
Acetato de Metilo	0.934	Metanol	0.791
Acetato de Etilo	0.901	Etanol	0.789
Acetato de Propilo	0.886	Propanol	0.804
Acetato de Butilo	0.881	Butanol	0.81
Acetato de Amilo	0.876	Alcohol Amílico	0.815
ÉTER GLICOLES	d_4^{20}	CETONAS	d_4^{20}
Metilglicol	0.966	Acetona	0.792
Etilglicol	0.931	MetilEtilCetona	0.805
Propilglicol	0.911	MetilPropilCetona	0.807
Butilglicol	0.902	AmilMetilCetona	0.816

Tabla 2.3

3.3. USOS DE SOLVENTES

3.3.1. SOLVENTES EN LAS REACCIONES QUIMICAS

Un gran número de reacciones químicas ocurren en las soluciones. Los solventes desempeñan varias funciones en una reacción química. Se pueden usar como un medio de reacción, para evitar que se separen los reactivos y como un elemento de arrastre para separar compuestos químicos en solución. Como medio de reacción, pueden solvatar los reactivos permitiendo que se disuelvan. Facilitan la coacción de los reactivos favoreciendo su transformación en productos, o aumentando la energía de la coacción de las partículas para acelerar la reacción. Los solventes también se pueden usar para otras finalidades; por ejemplo en reacciones endotérmicas se puede suministrar calor por medio de un solvente inerte caliente con alta capacidad calorífica, mientras que en reacciones exotérmicas se podrían utilizar para absorber el calor. Además los solventes pueden ser un medio de control de la temperatura. Incluso las reacciones en fase gaseosa, que normalmente ocurren a alta temperatura y/o presión, se podrían realizar en fase líquida a menor temperatura y/o presión. Como elemento de arrastre los

solventes se pueden usar para actuar indirectamente sobre la reacción por remoción de uno o más productos. El solvente más adecuado se elige sobre la base de la teoría y la experiencia. Un buen solvente debe presentar las siguientes características.

- Debe ser inerte en las condiciones de reacción.
- Debe disolver los reactivos
- Su punto de ebullición debe ser apropiado
- Se debe remover fácilmente al final de la reacción.

3.3.2. SOLVENTES EN LA EXTRACCION

La extracción por solvente se puede definir como un proceso de transporte de masa de una fase a otra con el propósito de separar uno o más componentes de la mezcla.

La extracción líquido-líquido, también conocida como extracción líquida o extracción por solvente, es la separación de los componentes de una solución líquida, denominada alimentación, por contacto con otro líquido, miscible o inmiscible, denominado solvente, que debe tener la propiedad de extraer preferentemente uno o más componentes deseados (solute). Así se originan dos nuevas corrientes, el refinado, que es la solución residual de la alimentación, pobre en un solvente y con uno o más de los solutos retirados por la extracción, y el otro es el extracto, rico en solvente y que contiene el soluto extraído.

En el caso de la extracción de componentes presentes en matrices sólidas los mecanismos que intervienen son: lixiviación, lavado, difusión y diálisis. La eficiencia de la extracción sólido-líquido depende, en gran parte, del tratamiento previo que haya recibido la matriz sólida, para maximizar el área de contacto entre el sólido y el solvente.

Se desea que los solventes utilizados para la extracción líquido-líquido o sólido-líquido tenga las siguientes propiedades:

- Baja inflamabilidad

- Estabilidad térmica y química
- Inercia con relación a equipos (minimización de gastos de mantenimiento)
- Elevada pureza para uniformizar las características operacionales
- Alto volumen/bajo precio
- Fácil recuperación
- Alta selectividad
- Alto poder de solución del soluto en cuestión
- Alto poder de penetración en la matriz sólida
- Fácil difusión del sólido en el solvente (baja viscosidad).

Una nueva forma de extracción líquida-líquida es la extracción con fluidos supercríticos o gases en estado líquido. Los gases en estado líquido cerca del punto crítico o los fluidos supercríticos cerca del punto crítico tienen la característica de ser buenos solventes. Tienen densidad más alta, de valor más próximo al de un líquido común que la de un gas común. Tienen baja viscosidad, de valor más próximo al de un gas que al de un líquido. De manera general la extracción supercrítica tiene la ventaja de permitir variar la selectividad del solvente modificando la presión o la temperatura del sistema; también permite que se elimine el solvente fácilmente mediante una simple despresurización del sistema. Los principales inconvenientes son: el trabajo de compresión para licuar el gas hasta un valor cercano a su presión crítica y el costo elevado del equipo.

3.3.3. SOLVENTES EN LAS PINTURAS Y REVESTIMIENTO

En la industria de pinturas se usan solventes para disolver y/o dispersar diferentes componentes usados en la formulaciones (como resinas y pigmentos) con la finalidad de conseguir una viscosidad o consistencia adecuada que permitan una amplia uniformidad y una aplicación uniforme (el solvente es el vehículo). Después de aplicada la pintura los solventes se evaporan y la resina y los pigmentos forman una película y se secan dentro de un periodo de tiempo adecuado.

Las principales propiedades que deben tomarse en cuenta de un solvente usado en la industria de pinturas son:

- Peso específico
- Inflamabilidad
- Capacidad disolvente
- Rango de destilación
- Velocidad Relativa de evaporación
- Aspectos toxicológicos (Seguridad e Impacto Ambiental)

3.3.4. SOLVENTES EN LAS TINTAS DE IMPRESION

El solvente es el componente principal en cantidad, de la mayoría de las tintas de impresión usadas en litografía, offset, letterpress, flexografía y procesos de impresión de grabados y telas.

El poder disolvente y la volatilidad del solvente son propiedades importantes que determinan el tipo de tinta que se puede utilizar en los diferentes procesos de impresión.

Los solventes se usan para controlar la viscosidad de la tinta y permitir que fluya adecuadamente sin dañar los rodillos de impresión. Además los solventes promueven la optimización del tiempo de secado en función del proceso de impresión.

Los solventes o las mezclas de solventes que se usan en las tintas para litografía, para flexografía y para grabados se evalúan de acuerdo con las características de estabilidad de la impresión, facilidad de

impresión y secado de la tinta en el sustrato. Por otro lado, es necesario tener cuidado al elegir las formulaciones de tintas para flexografía y trabajos de grabados que se usan en envases para evitar problemas de olor y retención de producto.

3.3.5. SOLVENTES EN LOS PRODUCTOS DE LIMPIEZA

Los solventes se emplean en una gran variedad de productos de limpieza porque ayudan a aumentar su eficiencia actuando de diferentes maneras:

Solubilizarían de las impurezas

Los solventes disminuyen la necesidad de añadir abrasivos actuando como suavizadores de tejidos y solubilizan los restos de suciedad.

Reducción de la tensión superficial

Los solventes contribuyen con la función desinfectante reduciendo la tensión superficial. Esta característica sumada a la de otros componentes del producto ayuda a que el desinfectante penetre en los espacios vacíos del material que se limpia, lo que permite atacar los microorganismos más eficazmente.

Aumentar la estabilidad del producto

Otro beneficio de la presencia de un solvente en un producto de limpieza es que lo hace más estable aumentándole así la vida útil del producto.

3.3.6. SOLVENTES EN LOS ADHESIVOS

Los solventes mejoran el desempeño de los adhesivos. Desde suelas de zapatos hasta neumáticos para automóviles, los solventes se usan en aplicaciones domésticas e industriales, así como en aplicaciones de alta exigencia como la adhesión metal-metal.

Los solventes también se utilizan para disolver adhesivos sólidos y para preparar las superficies para el proceso de colado; la efectividad para controlar el tiempo de secado es un atributo crítico para la mayoría de los adhesivos. Para obtener un adhesivo eficiente es esencial retirar completamente el solvente.

3.3.7. SOLVENTES EN LOS FARMACOS

Los solventes se usan en miles de productos farmacéuticos, en cuya manufactura desempeñan dos funciones: se pueden emplear como medio de reacción y también se pueden usar para extracción y purificación.

En la producción de algunos fármacos, como cremas antibacterianas y corticoides, frecuentemente se utilizan solventes al iniciar el proceso para fabricar los ingredientes activos. Los solventes también se pueden usar para mezclar los componentes de un producto cuya forma final es una crema, una loción o un líquido; además se usan para dar consistencia al producto final.

Los solventes también se utilizan en productos para animales domésticos como medicamentos por vía oral y champús para mascotas. En estos los solventes se usan para disolver ingredientes activos o para suavizar el pelo de los animales.

3.3.8. SOLVENTES EN LOS PRODUCTOS AGRICOLAS Y ALIMENTICIOS

Los solventes se usan para preparar y aislar ingredientes activos en el segmento de pesticidas y productos agrícolas. En los pesticidas la presencia del solvente permite que el producto se seque de manera uniforme, lentamente y penetrando adecuadamente, disminuyendo la cantidad que se necesita aplicar.

Debido a las diversas aplicaciones de los pesticidas, herbicidas e insecticidas, los solventes tienen un papel esencial en su función como transporte. Es importante elegir el solvente adecuado para que el tiempo de secado sea el más conveniente (lo suficientemente lento para permitir una buena penetración) y una eficiente dispersión del producto.

Los solventes se usan en muchas etapas de la preparación de alimentos y también en sus envases. Se usan para extraer grasa, aceites y aromas de nueces, semillas y otras sustancias, así como en formulaciones líquidas de aromas y esencias. También se usan en las tintas de impresión y los adhesivos para envases

de alimentos. La presencia de solventes en los productos de limpieza ayuda a higienizar los ambientes en que se preparan alimentos.

3.3.9. SOLVENTES EN LA HIGIENE PERSONAL

Los solventes se emplean en la manufactura de productos de belleza y cosméticos para disolver ingredientes y mejorar el desempeño del producto.

Solventes usados en productos para el cabello

En los productos para tratamientos del cabello se usan los solventes para mezclar la tintura antes de aplicarla. En los champús y acondicionadores se usan junto con otros ingredientes para dejar el cabello suave y fácil de peinar y mezclados con una variedad de otros productos para alisar o enchinar.

Los solventes se encuentran en muchos productos como espumas, geles y fijadores, en estos productos los solventes más comúnmente encontrados son los alcoholes y glicoles.

Solventes usados en productos para la piel

Los solventes intervienen en la composición de lociones, cremas, lápices de labios, cremas de afeitar y otros productos destinados a mantener la elasticidad de la piel, suavizar, otorgar apariencia sana, etc.; se les utiliza como vehículo de los agentes antibacterianos, fragancias, o para dar una consistencia apropiada al producto. Algunos productos para limpieza de la piel, como los astringentes contienen solventes que ayudan a disolver y retirar restos de maquillaje; otros, como las lociones faciales y los geles de afeitar los contienen para mejorar su desempeño.

3.3.10. SOLVENTES EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ

Los solventes colaboran en la manufactura de los automóviles de varias maneras, permiten limpiar las boquillas de inyección, válvulas, cámara de combustión, cabezal y carburadores, así como las alfombras y el tapizado, también evitan que se caliente el motor con los anticongelantes.

Los solventes entran en la composición de los aditivos para gasolina. Estos productos mantienen siempre limpia la boquilla de inyección permitiendo el buen funcionamiento del sistema de inyección electrónica, además aumentan la vida útil del sistema de convertidor catalítico, evitan la corrosión y garantizan una perfecta pulverización del combustible.

3.3.11. SOLVENTES EN MICROCHIPS

Los solventes tienen un importante papel en la industria microelectrónica participando en la fabricación de circuitos integrados o microchips. El uso de solventes de grado electrónico permite minimizar fallas en el circuito. Grado electrónico significa que el contenido de iones en el solvente es bajo, lo que es importante porque los iones metálicos pueden causar un corto y arruinar el microchip.

Los solventes de grado electrónico se usan para disolver un polímero fotosensible que se usa para revestir una pastilla de silicio con la que se hace el micro-circuito. Para limpiar la superficie de esta placa y la del circuito se usan solventes. Los solventes que más se usan para fabricar microchips son alcoholes, ésteres y cetonas.

Los chips de los circuitos integrados se fabrican por un proceso denominado fotolitografía, en el que inicialmente se produce el depósito de una capa de SiO_2 sobre una pastilla de silicio y después se reviste la pastilla con una película muy fina (de 0.5 a 1.0 micrómetros, 10^{-6} metros de espesor) de un polímero orgánico fotosensible solubilizado. Después se irradia la pastilla con luz UV a través de un estencil denominado máscara (especie de modelo o molde utilizado para dar al circuito la forma deseada). Las partes del polímero irradiadas y que no están cubiertas por la máscara reaccionan y se quedan más solubles que el material original de las regiones cubiertas por la máscara. El paso siguiente es lavar con un solvente adecuado que retira el polímero de la superficie expuesta. (es decir las que no están cubiertas). A continuación queda expuestas la superficie de sílice mostrando el formato del circuito. Para terminar de producir el circuito se realizan sucesivos recubrimientos y ataques con solventes químicos.

3.3.12. SOLVENTES EN AEROSOLES

Una gran variedad de productos se comercializa en pulverizadores del tipo aerosol, que tienen la ventaja de reducir el desperdicio y permitir alcanzar eficazmente espacios pequeños. Se usan en productos para revestimientos, de limpieza, aromatizadores de ambiente, de cuidado personal, insecticidas, etc. Un componente clave de muchos de estos pulverizadores es el solvente, que ayuda a mejorar el desempeño del producto y prolonga su vida útil.

En la formulación de un aerosol hay tres componentes principales: propulsor, solvente e ingredientes activos. La mayoría de los propulsores tienen un bajo poder disolvente, por eso se usa el solvente, cuya función es mantener el propulsor uniformemente distribuido en el producto. En algunos casos es necesario agregar un segundo solvente con la finalidad de mantener los ingredientes activos en solución. Otra importante función del solvente es la de permitir adaptar el tamaño de partícula del pulverizador a las necesidades de la aplicación. Los pulverizadores usados para pintura, cremas e insecticidas, tienen características diferentes. El solvente tiene la capacidad de reducir la presión de vapor del propulsor, lo que influye sobre el tamaño de partícula del pulverizador.

En algunos casos el solvente es esencial para el desempeño del propio producto, por ejemplo los aerosoles para pintura. Muchas formulaciones de pinturas en aerosol contienen tres tipos de solventes con diferentes tasas de evaporación: rápido, medio y lento. El solvente que se evapora más rápido otorga una viscosidad inicial más baja, que facilita la aplicación del producto, el solvente que tiene una tasa de evaporación media impide que el producto gotee, y el solvente de una tasa de evaporación lenta, el último que sale del sistema, finaliza el flujo y permite una distribución uniforme, lo que será una función de la afinidad del solvente por el soluto (polímero).

4. TENDENCIAS EN USOS DE SOLVENTES

Se cree que los primeros solventes utilizados fueron los hidrocarburos, como la terebintina, que se extraía de la madera y el etanol proveniente de los procesos de fermentación. Los griegos y los romanos fermentaban uva y caña de azúcar para obtener etanol y descubrieron que a pesar de que ese líquido tenía un comportamiento parecido al del agua y se parecía al agua podía disolver aceites y resinas.

Hay registros de que antes de Cristo, los asirios usaban solventes con fines medicinales. También hay datos que comprueban que los egipcios los usaban para sintetizar sustancias de uso cosmético. Trabajos realizados en conjunto por químicos de L'Oreal y científicos del museo de Louvre de Paris permitieron que llegaran a la conclusión de que el color negro de las muestras de maquillaje analizadas en reliquias del segundo milenio era de naturaleza sintética, es decir, elaborado a partir de componentes que no se encuentran en la naturaleza.

Antoine de Chris y Roure Bertrand Fils marcaron un hito en la historia de los solventes cuando presentaron en la Feria Mundial de Paris de 1900 esencias extraídas con solventes volátiles, lo que les permitió ganar el gran premio de la feria.

El primer solvente de origen petroquímico se produjo en 1920.

En 1918 al finalizar la primer Guerra mundial, surgió la necesidad de la producción en gran escala. Los solventes para pinturas se empezaron a utilizar para atender la demanda de un Mercado que se estaba reconstruyendo y que tenía prisa.

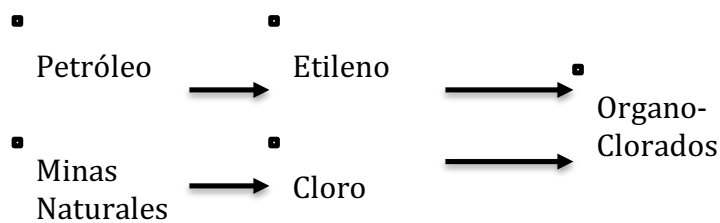
En la industria automotriz, con la introducción de máquinas que permitían acelerar el trabajo de pintado de los automóviles, se enfrentaron al problema de tener que contar con procesos de secado más rápido. Las resinas a base de aceites vegetales y las de madera se remplazaron por resinas a base de nitrocelulosa. Como una simple observación podemos recordar que al finalizar la Guerra se acabó el trabajo en las fábricas de pólvora y debido a la necesidad de producir esas nuevas resinas, se volvieron a usar los equipos que habían quedado desactivados.

Después, aparecieron las resinas fenólicas que fueron las primeras resinas sintéticas (1920). En 1930 se empezaron comercializar las resinas alquídicas.

La evolución de los diversos tipos de resinas y de la tecnología de producción de pinturas impulso y modelo el uso de los solventes orgánicos industriales. El motor de esta evolución fue sin ninguna duda la necesidad de contar con resinas más modernas y de secado más rápido.

4.1. PRIMERA TENDENCIA: SUSTITUCION DE CLORADOS

Los primeros solventes producidos fueron los organoclorados. ICI (International Coating Industry) fue la primera empresa que produjo y utilizó los solventes sintéticos organoclorados.



El solvente tricloroetileno (TCE) se produjo por primera vez en 1910, sin embargo hasta 1930 no se le encontraron aplicaciones relevantes. EL tetracloruro de carbón sustituyo a la gasolina en los productos para limpieza de materiales y se le consideró el principal solvente orgánico para esta aplicación hasta 1960 cuando se introdujo el 1,1,1-tricloroetano (TCA). Durante varios años se utilizaron los solventes organoclorados como removedores de ceras, aceites y otras sustancias de superficies ya que tenían un buen desempeño y se les consideraba seguros ya que no eran inflamables. Los organoclorados que más se utilizaban eran: 1,1,2, -tricloro-1,2,2-trifluoroetano (CFR 113), 1,1,1-Tricloroetano (TCA), Tricloroetileno (TCE), Tetracloroetileno también llamado percloroetileno o PERC, además del diclorometano.

A los solventes clorados se los denominó líquidos densos de fase no acuosa (DNAPL –Dense Non-Aqueous Phase Liquids), debido a que no tenían olor ni sabor y su densidad era superior a la del agua.

A pesar de que ya existían técnicas de medición, los solventes clorados no fueron objeto de detección ni medición hasta la década de los 80's. Solamente después que se analizaron los métodos de disposición de los residuos fue que se entendió de qué manera estos productos contaminaban el subsuelo.

En 1970 se observó que algunos clorofluorocarbonos (CFC's) sufrían modificaciones químicas en la capa superior de la atmósfera y provocaban la destrucción de la capa de ozono. Debido a esta confirmación, cuarenta y cinco países firmaron en 1987 un acuerdo (Protocolo de Montreal) para restringir la producción y el uso de tales sustancias. En 1992 se decidió por votación que a partir del 1ero de Enero de 1996 no se permitiría más el uso de las sustancias que destruyen la capa de Ozono, las cuales se encuentran en la lista ODSL (Ozone Depleting Substance List) Clase 1.

4.2. SEGUNDA TENDENCIA: RESTRICCIÓN AL USO DE HIDROCARBUROS

El primer hidrocarburo comercializado como solvente fue el benceno. En 1849 se producía a partir del carbón pero solamente en 1941 se comenzó producir a partir del petróleo. Al principio su principal aplicación era en la gasolina pero a partir de la mitad de la segunda Guerra mundial su aplicación se extendió a la industria química. Actualmente se le usa principalmente como materia prima en la producción de etil-benceno, cumeno y ciclohexano.

En 1989 la EPA (Environmental Protection Agency), Agencia de Protección del Medio Ambiente, restringió el uso del Benceno a las aplicaciones industriales. Se hicieron estudios sobre el impacto negativo sobre la salud que podían causar los co-productos del Benceno: Tolueno y el Xileno en los trabajadores y los resultados de los estudios se publicaron en los años 90's.

También en la década de los 90's se aceptaron internacionalmente el Protocolo de Montreal y la Ley del Aire Limpio (Clean Air Act) que es una de las regulaciones de la EPA, así mismo se promueve el proceso de reducción gradual del uso de solventes que agotan la capa de Ozono. En los Estados Unidos se limitan las emisiones de componentes orgánicos volátiles (VOC), obedeciendo lo establecido en el Clean Air Act y se restringe el uso del de hidrocarburos, compuestos clorados y otros productos.

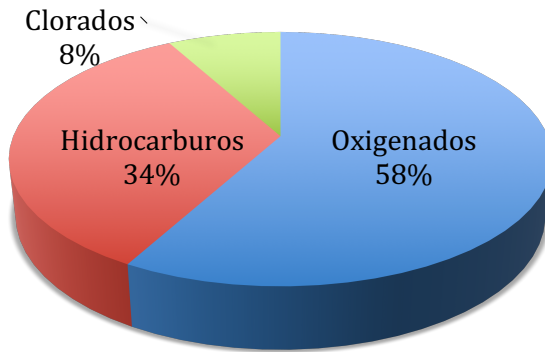
Las industrias voluntariamente han realizado esfuerzos para reducir el uso de algunos productos como Benceno, Tolueno, Metil Etil Cetona (MEK), Metil Isobutil Cetona (MIBK), Cloroformo y cloruro de Metileno. Los organismos y las agencias de protección al medio ambiente están al tanto de estas iniciativas que principalmente se observan en los países desarrollados. Los mayores índices de reducción se produjeron en los segmento de pinturas, barnices y en productos de limpieza industrial.

4.3. TERCERA TENDENCIA: EVOLUCION DE OXIGENADOS

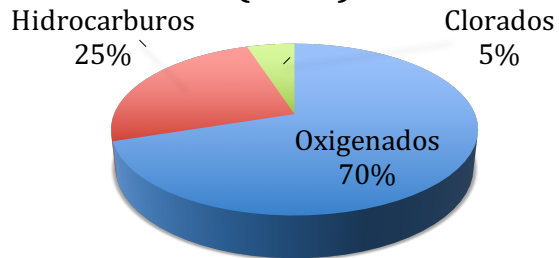
La evolución del uso de los productos químicos y su impacto sobre la salud humana impulso la introducción de legislaciones sobre salud, seguridad y medio ambiente forzando a que los fabricantes y usuarios desarrollasen otros tipos de productos. De ahí surge la tercer generación de solventes: Los solventes Oxigenados. En esta categoría se encuentran sustancias con funciones químicas como alcoholes, cetonas, ésteres, glicoles, glicoéteres y otras.

Antes de que surgiesen tales legislaciones, más de la mitad de las pinturas base solvente estaban compuestas por hidrocarburos alifáticos y aromáticos. Después del Protocolo de Montreal, muchas empresas principalmente de países desarrollados, empiezan a sustituir estos hidrocarburos por solventes oxigenados cuando las condiciones técnicas lo permitían. Actualmente en el mundo se consumen cerca de 20 millones de toneladas de solventes industriales de los cuales el 80% son oxigenados. Se muestra esta evolución en las gráficas siguientes expresadas en toneladas y obtenidas de "Paints, Coatings and Solvents" de Werner Freitag and Dieter Stoye.

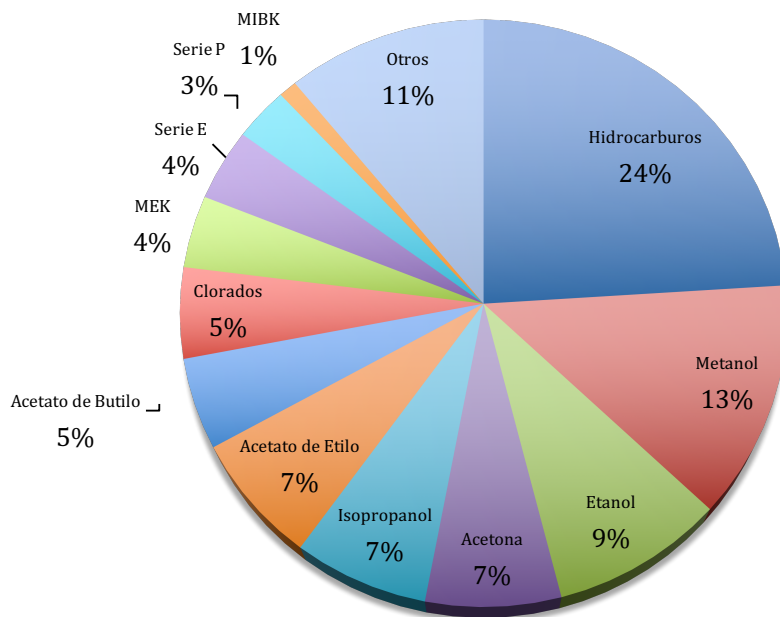
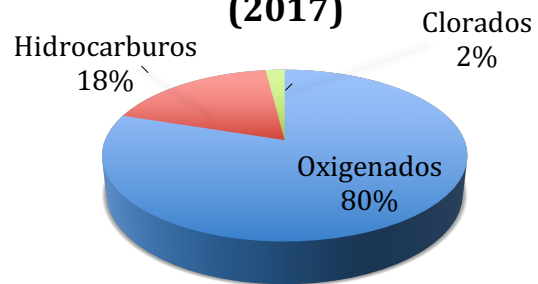
Solventes Industriales (1997)



Solventes Industriales (2007)



Solventes Industriales (2017)



Grafica 1 Solventes Oxigenados (2007)

4.4. CUARTA TENDENCIA: REVOLUCION VERDE

El uso de solventes petroquímicos es fundamental en varios procesos químicos y aplicaciones del día a día, pero ha ocasionado serios impactos sobre el medio ambiente. Como se detallara más adelante, debido al Protocolo de Montreal se ha percibido la necesidad de reevaluar los procesos químicos e identificar y cuantificar el uso de los compuestos orgánicos volátiles (VOC) y su impacto en el medio ambiente.

En las últimas décadas se ha observado una creciente demanda por solventes menos agresivos al medio ambiente que ha llevado a la creación de un nuevo grupo de productos, los solventes verdes.

La evolución del Mercado de solventes presenta, en promedio, los mismos índices de crecimiento del PIB mundial. En los periodos que los solventes clorados y solventes hidrocarburos han presentado índices de crecimiento negativo, los solventes oxigenados han crecido con un índice dos veces mayor al PIB en sus respectivos periodos. Ahora los solventes llamados verdes, están presentando un índice de crecimiento mayor a cuatro veces los anteriores.

Todavía no se ha encontrado el solvente ideal pero es necesario procurar un equilibrio entre eficiencia, costo e impacto ambiental. Hace por lo menos quince años que se vienen utilizando con una buena aceptación en varios sectores del Mercado algunos biosolventes como metil soyato, lactato de etilo y D-limoneno.

5. CRITERIOS DE SELECCION DE SOLVENTES

Las resinas tienen el papel más importante en el desempeño de un sistema, pero si los solventes no fueron adecuadamente seleccionados estos pueden afectar significativamente el producto. Se puede decir que gran parte de las propiedades de aplicación de las pinturas depende de los solventes porque influyen en varios aspectos de la pintura como son la nivelación, el escurrimiento, el grado de reticulación e incluso la dureza de la película.

5.1. PODER SOLVENTE

Para solubilizar un soluto se debe contar con dos informaciones esenciales:

- El poder solvente que consiste en la evaluación de la eficacia del solvente con respecto al soluto. El formulador debe contar con la posibilidad y flexibilidad de comprar varios solventes dependiendo de la calidad del producto terminado que quiera obtener.
- La evaluación para saber si existe un solvente verdadero de una determinada sustancia o si se necesita una mezcla de solventes para disolverla.

El problema es más complicado cuando se necesita usar mezclas de dos, tres o varios solventes y diluyentes. Se puede realizar ensayos por medio de prueba y error, pero este procedimiento ocasiona pérdida de tiempo y no garantiza la optimización de los resultados obtenidos.

Hay un método teórico basado en cálculos matemáticos que permiten saber cuáles son los solventes que se pueden usar en una formulación determinada. Este método que representa un progreso considerable, principalmente gracias a las investigaciones de Charles M. Hansen (*Aspects of solubility, surfaces and difusión in polymers*, by Hansen, C.M. Elsevier Progress in Organic Coating, 55-66, 2004), se basa en los parámetros de solubilidad del conjunto polímero/solvente y se explica anteriormente en el capítulo 3 pag 23 - 29 del presente trabajo.

Por la aplicación del método de los parámetros de solubilidad se elige el solvente (o mezcla) más apropiado para la aplicación deseada, teniendo en cuenta la viscosidad de las soluciones.

La evaluación relativa del poder solvente se torna necesaria y el estudio de la viscosidad de las soluciones es el método normalmente utilizado ya que por medio de este se obtienen los resultados más representativos.

Existen otros métodos de determinación del poder solvente, que son:

- Velocidad Relativa de dilución
- Índice de kauri-butanol
- Punto de anilina.

Se admite que el poder solvente es inversamente proporcional a la viscosidad de una solución de soluto (resina) constante.

En general el conocimiento del poder solvente de un líquido basado en la viscosidad es muy útil pero se debe completar con la observación de la evolución de esa viscosidad en función del tiempo.

En este caso, el poder solvente de un líquido a una determinada viscosidad, es mayor cuando la cantidad de resina en solución es mayor.

A continuación se presenta una lista de las propiedades que se deben tener en cuenta para elegir un buen solvente:

- Poder de disolución
- Índice de evaporación
- Punto de inflamación
- Estabilidad química
- Tensión superficial
- Color
- Olor
- Toxicidad
- Bio-degradabilidad
- Evaluación costo-beneficio

5.2. RAPIDEZ DE EVAPORACIÓN

La rapidez de evaporación es tan importante como el poder solvente; es esencial para desarrollar una fórmula equilibrada y que esté debidamente adaptada a las condiciones del sistema para el que se quiera utilizar.

El conocimiento exacto de la rapidez de evaporación de los componentes de una formulación es muy importante cuando se trata de equilibrar bien el secado de la película de pinturas y barnices o de obtener

una película seca en un intervalo de tiempo limitado, como en el caso de aplicaciones en roto grabado y flexo grafía.

Un solvente se debe evaporar con relativa rapidez al inicio del secado para evitar escurrimientos, pero también es necesario se evapore suficientemente despacio para nivelar y permitir que la película se adhiera al sustrato.

El proceso de evaporación tiene lugar por la acción del intercambio de calor de los solventes con el medio, ocasionando un enfriamiento en el ambiente del entorno del sistema, incluyendo el sustrato sobre el cual la pintura se aplica.

En el caso de los solventes más volátiles, el enfriamiento es todavía más drástico llegando a temperaturas por debajo del punto de rocío, lo que puede provocar la condensación de humedad en la superficie de la película. A este fenómeno los pintores lo denominan “Blushing” (emblanquecimiento de la superficie) y normalmente se debe a la absorción de agua.

5.3. OTROS CRITERIOS PARA SELECCIONAR SOLVENTES

Las propiedades más importantes que se esperan de un solvente son su capacidad para producir soluciones concentradas, estables y fluidas, y la rapidez de evaporación que se adapte a problemas determinados, sin embargo, el formulador también debe tener en cuenta que además de las consideraciones económicas debe de tomar en cuenta otras funciones de la aplicación a la que se destina ya que no se pueden dejar de considerar motivos técnicos o de seguridad.

5.3.1. MATRIZ DE PERDOMO

Un método que involucra las principales características de los solventes es el método de la matriz de Perdomo. En este, se toman en cuenta la actividad del solvente, la rapidez de evaporación y los costos de los solventes y las resinas.

Con este método se puede simplificar las variables para la toma de decisión del sistema visualizando en una tabla los puntos relevantes para la toma de decisión.

TOTAL 100%	25 ACTIVO subtotal __%	15 LATENTE subtotal __%	60 DILUENTE subtotal __%	MATRIZ DE PERDOMO
10 RAPIDO subtotal __%	10			Propiedades de la Formula
80 MEDIANO subtotal __%	5			Co-resina(s)
10 LENTO subtotal __%	10			Pigmento(s)
MATRIZ DE PERDOMO	Costo del Solvente	Costo de la Resina	Otros	Aditivo(s)

5.3.2. SEGURIDAD, SALUD Y MEDIO AMBIENTE.

Toxicidad, inflamabilidad y explosividad, son parámetros que se deben tomar en cuenta en la selección de los solventes de un sistema.

Dentro de estos, uno de los criterios importantes que se deben tener en consideración para elegir un solvente es la adecuación a las regulación ambientales, que son cada vez más estrictas. El tema de VOC es de creciente importancia en los países en desarrollo recibiendo fuertes presiones de organismos reguladores de contaminantes para el medio ambiente a nivel mundial.

6. SOLVENTES VERDES

El siglo XX se caracterizó por el gran crecimiento de la economía global y la continua mejora del estándar de vida de los países industrializados. Sin embargo, a partir de la mitad del último siglo, los siguientes acontecimientos impactaron la conciencia de los seres humanos:

- El consumo de agua se triplicó
- La demanda de madera como material de construcción se duplicó, principalmente en los Estados Unidos de América.
- La demanda de pulpa de madera como materia prima para producir papel aumentó seis veces
- La pesca y el consumo de los peces del mar aumentó cinco veces.
- La producción de automóviles, camiones y motocicletas aumentó exponencialmente.
- La crianza de animales, especialmente ganado bovino, aumentó de forma alarmante.
- El crecimiento de la mancha urbana creció exponencialmente.

La historia presenta varios ejemplos de explotación del medio ambiente que por realizarlo de forma no sustentable, ocasionó un serio impacto ambiental. Por ejemplo, la agricultura intensiva del Imperio Romano acompañada con una fuerte demanda de la sociedad de la época por servicios como: la afición a los baños de vapor, la forja de metales y armas, la demanda de madera para calentar las casas o para la construcción de embarcaciones, están consideradas como uno de los primeros desastres ecológicos conocidos. La deforestación en la región de los Apeninos, en Italia, y posteriormente de las costas del mar Mediterráneo, erosionaron el suelo que se empobreció en humus y secaron algunos ríos durante un tiempo.

En la naturaleza se puede observar otros ejemplos que solo en los últimos años vienen despertando la atención y generando presión en gobernantes y en la sociedad en general. Entre los ejemplos más comunes se puede mencionar:

- El calentamiento global que está provocando el derretimiento de los polos
- El aumento de la neblina fotoquímica, principalmente en los grandes centros urbanos

- La destrucción de la capa de ozono de la estratósfera

En otras palabras, el crecimiento de la economía y el aumento del estándar de vida de las personas está pagando su precio agotando las fuentes naturales y aumentando la contaminación del medio ambiente.

Todo esto demuestra que es imprescindible adoptar políticas de desarrollo sostenible para lograr mejores condiciones ambientales, económicas y sociales y quienes deben tomar conciencia de ello principalmente son las personas en el poder de los países del mundo, los gobernantes, los industriales y las sociedad influyente.

Desde el punto de vista comercial, el desarrollo sostenible abarca tres áreas independientes:

- Económica: Administración eficiente de los recursos
- Ambiental: Prohibición de emisiones de contaminantes a la ecósfera y manutención de las bases para la vida
- Social: El ser humano es el centro de la demanda y del desarrollo.

La industria química en particular desempeña un papel importante en la mejora de la calidad de vida de los seres humanos. Su contribución con el desarrollo sostenible está asociado a la constante creación de nuevos productos que atiendan a las necesidades de los clientes y de procesos de manufactura que reduzcan los riesgos a la salud y al medio ambiente. Los principales conceptos sobre los que se basa para alcanzar tal sustentabilidad son:

1. Orientación consistente para productos, tecnologías y soluciones que tengan buenas perspectivas para el futuro.
2. Desarrollo de nuevas tecnologías ambientales integradas en el proceso de producción
3. Estrecha cooperación con los clientes
4. Adaptación a las condiciones de competitividad global
5. Rápida colocación en el mercado de los nuevos productos concebidos, teniendo en cuenta el concepto de desarrollo sostenible.

6. Mejora continua del desarrollo de procesos

7. Esfuerzos continuos en investigación y desarrollo de nuevas fuentes de materias primas con el objeto de usar principalmente las provenientes de fuentes renovables.

Actualmente se observa una creciente necesidad de contar con procesos químicos industriales compatibles con la preservación del medio ambiente. Esta tendencia se conoce con la denominación de Química Verde (Green Chemistry) o Tecnología Sustentable, es decir que para aplicarla es necesario cambiar los conceptos tradicionales sobre eficiencias del proceso.

La industria química usa grandes cantidades de solventes. En las industrias de química fina y de productos farmacéuticos, por ejemplo, se usan grandes cantidades de solventes por masa de producto final. En estos casos el solvente desempeña el rol principal en cuanto al impacto ambiental se refiere e influye en el costo, la seguridad y la salud ocupacional.

Se puede definir un solvente como “cualquier sustancia que disuelve otra y da como resultado una solución homogénea”. El criterio que se sigue para elegir un solvente para una determinada aplicación se basa en sus propiedades fisicoquímicas, mencionadas anteriormente.

Actualmente, a los criterios fisicoquímicos, se ha añadido los relacionados con el carácter toxicológico y del medio ambiente.

- Toxicidad inherente
- Inflamabilidad
- Explosividad
- Descomposición de ozono en la estratósfera
- Producción de ozono en la atmósfera
- Contribución potencial al calentamiento global.

El movimiento de Green Chemistry promueve el uso de solventes que no agredan la salud ni el medio ambiente. El concepto de Solvente Verde expresa el objetivo de minimizar el impacto sobre el medio ambiente y la salud humana sin perder el desempeño exigido para sus diversas aplicaciones.

Como no hay una definición universal de lo que es un Solvente Verde, el objetivo de este capítulo es presentar los principales conceptos que se deben tener presentes al elegir un solvente y/o un sistema de solventes con características más “Verdes” para sustituir los que se están utilizando actualmente o para desarrollar nuevos productos.

Los criterios globales intrínsecos al concepto de Solvente Verde se basan en cuatro pilares:

Buen desempeño de aplicación con costo equivalente

1) Minimizar:

- a) Toxicidad a la Salud Humana
- b) Toxicidad al Medio Ambiente
- c) Impacto Ambiental

2) Que tenga buen desempeño de aplicación con costo equivalente.

Es decir que, de acuerdo con el concepto de solventes verdes, al elegir un solvente se debe considerar como elemento primordial, además de su desempeño, su toxicidad y el impacto ambiental que pueda causar y preferir aquel que afecte menos a la salud humana y al medio ambiente.

Cuando se estudia la posibilidad de sustituir un solvente o un sistema solvente en uso para una determinada aplicación o proceso químico con el objeto de conferirle una característica “mas verde” se debe plantear las siguientes preguntas:

- La posibilidad de modificar la naturaleza química del solvente por medio de una síntesis
- Identificación de formulaciones alternativas que pertenezcan a otras clases de compuestos y atiendan a la finalidad de la aplicación y sustitución de los tradicionalmente utilizados en una solución solvente o proceso químico.
- La posibilidad de reducción o eliminación del solvente para la aplicación en cuestión.

Cuando se tiene por finalidad desarrollar un nuevo producto se deben incluir en la planificación los conceptos fundamentales de la Química Verde (Green Chemistry). A continuación se presentan los doce conceptos principales de la Química Verde.

1. **Prevención:** es mejor prevenir la formación de efluentes que tratarlos o limpiarlos después de producidos.
2. **Economía Atómica:** los métodos sintéticos se proyectaran nuevamente para maximizar la incorporación al producto final de todos los materiales usados en el proceso, tratando de disminuirle la cantidad de subproductos.
3. **Reacciones químicas menos peligrosas:** siempre que fuera posible, proyectar métodos sintéticos que empleen y produzcan sustancias atóxicas o de baja toxicidad para el ser humano y el medio ambiente
4. **Productos más seguros:** los productos químicos sintetizados se desarrollaran teniendo como objetivo el mejor desempeño de su función aliado a la menor toxicidad.
5. **Solventes y auxiliares más seguros:** se buscara emplear caminos de síntesis en los que no sea necesario emplear sustancias auxiliares, como solventes, agentes de separación, etc., y cuando estos fueran necesarios, no deben representar riesgos.
6. **Procesos de mayor eficiencia energética:** se tendrá en cuenta la demanda energética de los procesos químicos para poder reducirla al máximo y reducir el impacto ambiental y económico. Dentro de lo posible, los procesos de síntesis se prefieren realizar a temperatura y presión ambiente.
7. **Uso de materias primas renovables:** se prefiere utilizar materias primas renovables cuando sea viable técnica y económicamente.
8. **Reducción de derivados:** se evitara o reducira al mínimo posible el uso de derivados como: grupos de bloqueo, de protección, de desprotección o procesos químicos/físicos de modificación temporaria ya que en estas etapas se requieren reactivos adicionales que pueden dar origen a efluentes.

9. **Catálisis:** se tienen que usar los catalizadores más selectivos posibles para asegurarse que las reacciones sean estequiométricas y no se tenga producto sin reaccionar.
10. **Auto degradación:** los productos químicos preferentemente se desarrollaran para que al final de su utilización se auto degraden dando productos inocuos que no permanecerán en el medio ambiente.
11. **Análisis en tiempo real para prevenir la contaminación:** se necesitarían desarrollar metodologías analíticas para monitorear y controlar el proceso en tiempo real, impidiendo así la formación de sustancias peligrosas.
12. **La química más segura para prevenir accidentes:** en un proceso químico las sustancias y las formas en que se encuentran se deben elegir de forma tal que minimicen el potencial de accidentes químicos, tales como la liberación de sustancias peligrosas, explosiones y fuego.

6.1. QUIMICA VERDE.

Teniendo en cuenta solamente los solventes, la química verde puede ser considerada como una variedad de técnicas para crear nuevos solventes, sistemas solventes y nuevas formas de utilizarlos para reducir o eliminar los peligros intrínsecos relacionados.

En algunos casos se están creando y desarrollando nuevas sustancias para ser usadas como solventes, en otros, se están estudiando la posibilidad de usar como solvente, sustancias conocidas pero con otras aplicaciones.

Varios autores han descrito algunos de los atributos de la Química Verde, en el libro "Green Chemistry: Theory and Practices", en donde se enumeran los doce principios de la Química Verde arriba descritos.

6.2. CONCEPTOS FUNDAMENTALES SOBRE QUIMICA VERDE.

Una de las características que tiene que desarrollar un solvente o un sistema solvente es que para que pueda ser considerado "verde" debe de tener un buen desempeño en una determinada aplicación. Esto es,

para que un solvente o sistema solvente sea considerado como verde, tendrá un desempeño adecuado en la aplicación en que se le utilice.

Más adelante, abordaremos los conceptos de la toxicidad a la salud humana y el medio ambiente.

6.3. IMPACTO AMBIENTAL.

La utilización de determinadas sustancias puede ocasionar modificaciones en el medio ambiente y dichos efectos ya se están sintiendo, un ejemplo es la lluvia ácida. Como es ampliamente conocido muchos de los co-productos de los procesos de combustión, como óxido de nitrógeno y azufre, se lavan en la atmósfera, lo que produce la precipitación pluvial en forma ácida lo cual ocasiona la muerte de algunas especies vegetales y animales acuáticos.

Otro de los efectos negativos sobre el medio ambiente terrestre son:

- La destrucción de la capa de Ozono en la estratósfera
- Formación de Ozono por reacciones fotoquímicas en la tropósfera.

6.3.1. DESTRUCCION DE LA CAPA DE OZONO

En septiembre de 1987, los Estados Unidos y otros veintiséis países firmaron un tratado con el objeto de, inicialmente limitar y posteriormente dejar de producir las sustancias que causan la destrucción de la capa de ozono.

Este tratado fue el resultado del estudio de varios investigadores que verificaron el aumento de la radiación solar que llega a la superficie de la tierra debido al agotamiento de la capa protectora de ozono de la estratósfera, y lo atribuyeron al efecto de compuestos halogenados, en especial los clorofluorocarbonos (CFC). Este tratado se conoce como “Protocolo de Montreal para Sustancias que Agotan la Capa de Ozono”.

Estos compuestos eran bastante utilizados en varias aplicaciones, principalmente las relacionadas con operaciones de transferencia de calor como:

- Fluidos refrigerantes para refrigeradores y congeladores.
- Fluidos enfriadores para aire acondicionado.
- Espumas sintéticas.
- Propelentes para aerosoles.
- Solventes de limpieza.

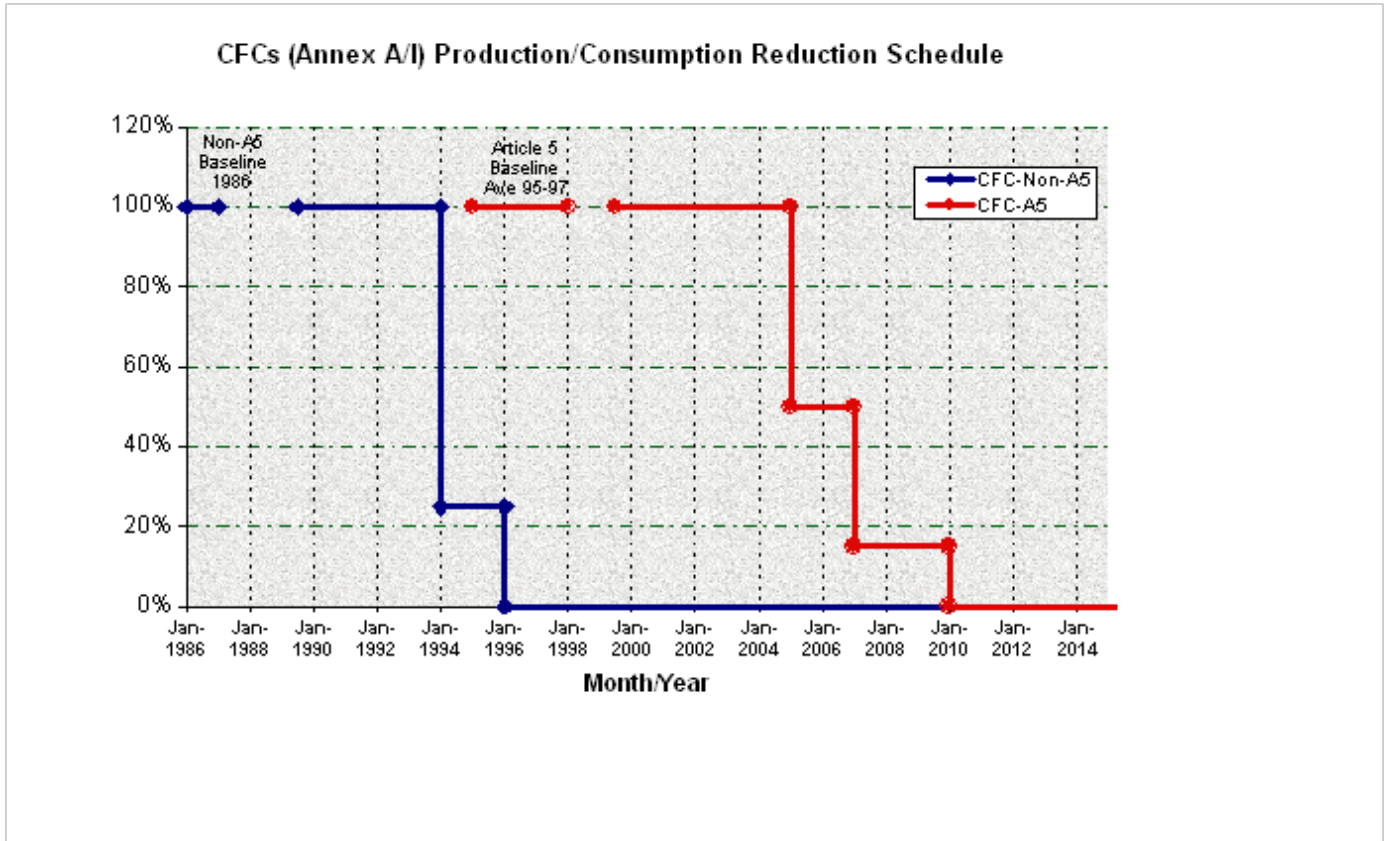


TABLA 6.0 Producción y Consumo de CloroFluoroCarbon a raíz de la firma del Protocolo de Montreal

Como se observa en la figura 6.1, la atmósfera de la tierra está compuesta por cuatro capas que son (de la más cercana a la más lejana de la tierra):

1. Tropósfera
2. Estratósfera
3. Mesósfera
4. Termósfera

La temperatura de cada una de las capas es estable, lo que ocasiona que no se mezclen. Sin embargo, como en la troposfera la temperatura disminuye a medida que aumenta la distancia de la superficie terrestre, esto produce turbulencia.

Esta turbulencia e inestabilidad provocan el movimiento de corrientes de aire que pueden cargar sustancias que destruyen la capa de ozono. El ozono que se encuentra en la troposfera es el componente principal de la neblina, que forma parte del aire que respiramos. Esta capa de ozono cercana a la superficie de la tierra puede ser perjudicial a los pulmones del ser humano, los árboles y vegetales en general. El ozono se forma por reacción de ciertos compuestos orgánicos volátiles (VOC) con óxidos nitrosos catalizados por la luz del sol (fotoquímica).

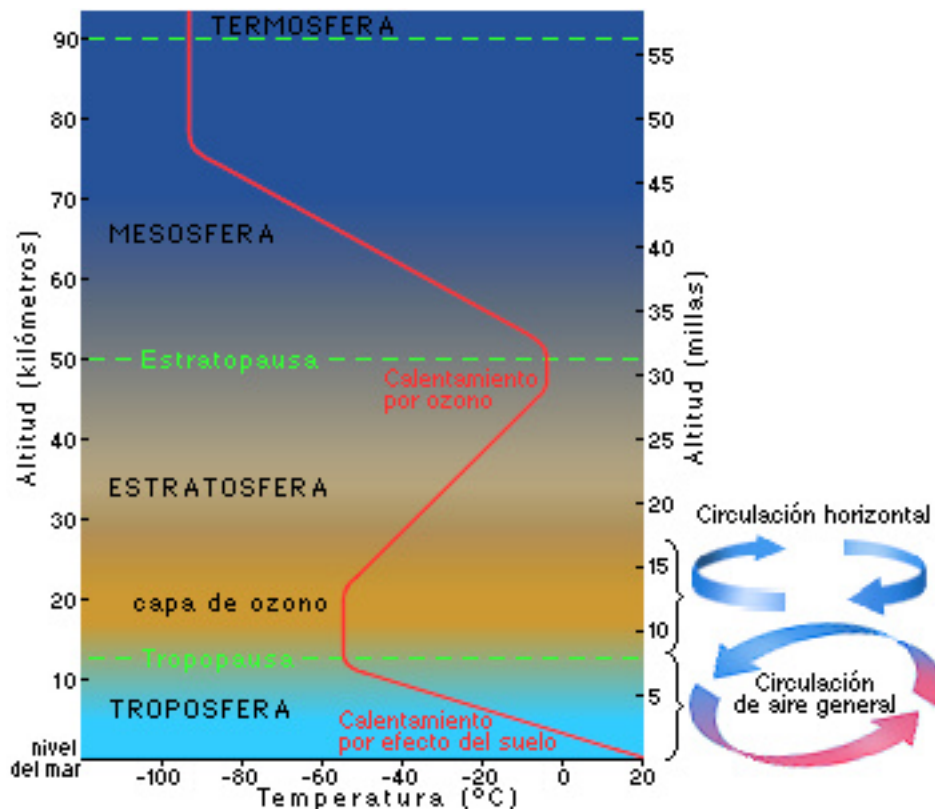


TABLA 6.1. Capas en que está dividida la atmósfera de la tierra.

La capa siguiente a la tropósfera es la estratósfera, la cual es mucho más estable y ejerce poca influencia en el clima. En la estratósfera hay elevadas concentraciones de ozono, lo que se conoce como capa de

ozono, la cual absorbe la radiación ultravioleta, incluyendo la del tipo B. Este tipo de radiación solar produce cáncer de piel, problemas oculares, problemas en el sistema inmune y diversos impactos en varios ecosistemas marinos y terrestres.

En las dos capas siguientes la concentración de ozono y de otros componentes atmosféricos es menor, por tal motivo son poco eficaces para filtrar la radiación ultravioleta.

En nuestras atmósfera las moléculas de ozono se crean y destruyen continuamente manteniendo un equilibrio constante entre oxígeno (O_2) y ozono (O_3).

A continuación se presenta un esquema del mecanismo de la acción de la radiación ultravioleta sobre el equilibrio entre el oxígeno y el ozono. En la estratosfera el ozono se produce por el siguiente mecanismo:



La radiación ultravioleta provoca la ruptura homolítica de la molécula de oxígeno (O_2) presente en el aire y de esta resultan dos átomos de oxígeno O^\bullet . A continuación los átomos de oxígeno libres reaccionan con moléculas de oxígeno (O_2) para formar el ozono (O_3):



La destrucción natural del ozono en la estratósfera se produce por el siguiente mecanismo:

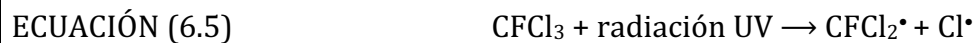


El ozono absorbe luz ultravioleta en la región de 290-320 nanómetros y se separa en una molécula de oxígeno y un átomo de oxígeno. En esta etapa se filtran los rayos ultravioletas emitidos por el sol.

Los átomos libres de oxígeno reaccionan con una molécula de ozono para dar dos nuevas moléculas de oxígeno.

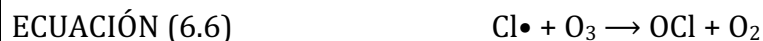


La destrucción de la capa de ozono causada por sustancias sintetizadas por el hombre sigue el siguiente mecanismo:



La radiación ultravioleta divide la molécula de CFC (CFCl_3) liberando un átomo de cloro el cual es sumamente reactivo.

Los átomos de cloro reaccionan con una molécula de ozono para formar monóxido de cloro y oxígeno molecular.



Cuando un átomo de oxígeno reacciona con una molécula de monóxido de cloro se forma una molécula de oxígeno y se libera un átomo de cloro que va a reaccionar con más ozono.



Como se puede observar en el mecanismo de destrucción de ozono por el CFC, ese ozono no se regenera y se da lugar a la formación de los llamados agujeros en la capa de ozono, cuya consecuencia principal es la disminución de la filtración de la radiación solar, en especial los rayos ultravioleta -B.

Otro aspecto importante es que esas sustancias no solo destruyen una molécula de ozono si no que provocan una reacción en cadena.

6.3.2. FORMACIÓN DE LA NEBLINA FOTOQUÍMICA

El ozono que se encuentra cerca de la superficie de la tierra es el principal componente de la neblina urbana, representada por un empañamiento amarillento del aire que se puede observar en muchas áreas urbana, principalmente durante el verano. Se forma en la atmósfera por la reacción fotoquímica de compuestos orgánicos volátiles (VOC) con óxidos nitrosos (NO_x).

Este problema se agrava en las grandes concentraciones urbanas debido a la emisión de elevadas cantidades de hidrocarburos, provenientes de los automóviles (como ejemplo), que van a la atmosfera.

En los días soleados y de temperaturas elevadas se dan las condiciones para que se forme dicha neblina.

Hay varias fuentes importantes de emisiones de VOC:

- Fuentes naturales o biogénicas, como árboles y vegetación en general; esta fuente contribuye con casi el 80% del total de neblina formada.

- Emisiones de vehículos
- Refinación de petróleo
- Fuentes de combustión

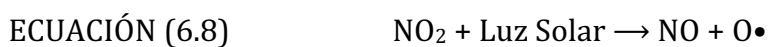
Las pruebas practicadas en las cámaras de neblina demuestran que algunos solventes son mas reactivos que otros y contribuyen en diferentes proporciones para la formación de ozono. A lo largo de estos últimos años se han creado leyes para promover la protección de la capa de ozono y preservar la calidad de aire. Tocaremos más adelante el tema de las legislaciones que existen actualmente para promover la protección de la capa de Ozono y preservar la calidad del aire.

6.3.3. PRODUCCIÓN Y DESTRUCCIÓN NATURAL DEL OZONO EN LA TROPÓSFERA

El ozono se forma en la tropósfera por una reacción de homólisis catalizada por la luz solar a partir del dióxido de nitrógeno (NO₂) que es la fuente principal de la producción de átomos de oxígeno sucediendo esto cerca de la superficie de la tierra.

1. Etapas de la producción de ozono

Por reacción homolítica provocada por la luz del sol el NO₂ se descompone en óxido nítrico (NO) y un átomo de oxígeno (ver ecuación 6.8).



El átomo de oxígeno reacciona con la molécula de oxígeno para producir ozono (como se muestra en la ecuación (6.9).



2. Etapa de la destrucción del ozono

El ozono que se forma en la etapa anterior reacciona rápidamente con el óxido nítrico (NO) y produce nuevamente NO₂ y O₂.



Por el proceso descrito anteriormente se confirma que aumenta la concentración de ozono al haber mayor concentración de O₂ que es la materia prima para el O₃ en esa capa de la atmosfera.

6.3.3.1. VÍA DE PRODUCCIÓN DE OZONO EN LA TROPÓSFERA

En 1950 se descubrieron otros dos constituyentes químicos de la tropósfera que también producen ozono: NO_x y VOC.

Es decir que para que se forme ozono en la tropósfera es necesario que haya NO_x y VOC. A continuación presentamos una manera muy simplificada de esta reacción.



La ecuación anterior representa de forma simplificada las varias reacciones químicas que ocurren en serie y en paralelo, y producen el aumento de la concentración de ozono y son:

- Oxidación de VOC
- Oxido-reducción de NO_x
- Catálisis por grupos hidroxílicos (reacción clave para varias etapas)
- Una serie de otras reacciones

Como resultado de estas reacciones se forma:

- Ozono
- NO₂ – que permitirá la formación de más ozono
- La regeneración de grupos hidroxilo, que a su vez van a catalizar la producción de más ozono.

6.3.3.2. PRODUCCIÓN DE OZONO APARTIR DE VOC Y NO_x EN LA TROPÓSFERA

EJEMPLO DE METANO

La producción de ozono provocada por el metano constituye un ejemplo del esquema general que sigue la mayoría de las reacciones químicas; sin embargo, la mayoría del ozono que se encuentra en la tropósfera es producido por otros hidrocarburos (non-methane hydrocarbons), como mostramos a continuación.

Vía 1 - DESTRUCCIÓN Y PRODUCCIÓN DE OZONO A PARTIR DE NO_x Y VOC

Esta vía está constituida por cinco etapas.

a) Etapa 1

Por acción de la luz del sol el ozono se divide en oxígeno molecular y un átomo de oxígeno (O•)



El átomo de oxígeno excitado electrónicamente reacciona con vapor de agua y se producen radicales hidroxílicos. El oxígeno y el agua abundan en la tropósfera y actúan en el proceso de formación de ozono.



b) Etapa 2

Los radicales hidroxilo (OH•) reaccionan rápidamente con otros compuestos químicos y comienza otra secuencia de reacciones. Una de esas reacciones es con el metano (CH₄), y se produce agua y un radical metilo (CH₃•).



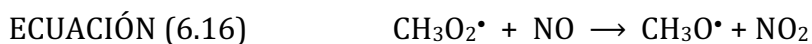
c) Etapa 3

Los radicales metílicos reaccionan con el oxígeno y producen radicales peroxi-metilos (CH₃O₂•)



d) Etapa 4

Los radicales peroxi metilos reaccionan con el óxido nítrico (NO), proveniente por ejemplo de la combustión de combustibles fósiles, y producen el radical metiloxi (CH₃O•) y dióxido de nitrógeno (NO₂).



e) Etapa 5

Por acción de la luz del sol el dióxido de nitrógeno se divide en óxido nítrico y oxígeno atómico, que por su vez reacciona con oxígeno molecular y forma ozono, según se observa en las ecuaciones (6.8) y (6.9).



El átomo de oxígeno reacciona con la molécula de oxígeno y produce ozono:



Además de esta vía, existen otras dos vías para la formación de ozono que se presentan a continuación.

Vía 2 - PRODUCCIÓN DE OZONO “LÍQUIDO” POR VOC Y NO_x

Los radicales metiloxi que se forman en la “etapa 4” pueden intervenir en otras reacciones que también van a dar como resultado una mayor producción de dióxido de nitrógeno y en consecuencia, mayor producción de ozono. Esta segunda vía es la reacción de los radicales metiloxi con oxígeno produciendo formaldehído y un radical hiperoxi (HO₂[•]).



El radical hiperoxi reacciona con óxido nítrico y produce un radical hidroxilo y dióxido de nitrógeno.



Ocurre una nueva etapa de formación de ozono a partir de la degradación de dióxido de nitrógeno por acción de la luz del sol, según las reacciones (6.8) y (6.9).

Vía 3 - PRODUCCIÓN DE OZONO “LÍQUIDO” POR VOC Y NO_x

La tercera vía de formación de ozono es a partir del propio formaldehído producido en la reacción (6.17), que provoca el aumento de la concentración de dióxido de nitrógeno y consecuentemente

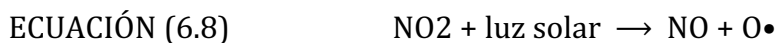
de ozono. Esta secuencia de reacciones representa la degradación del formaldehído por acción de la luz del sol y la producción de un radical formilo y un hidrógeno atómico.



Estas dos especies son sumamente reactivas y por lo tanto tienen un tiempo de vida muy corto; reaccionan casi instantáneamente con el oxígeno molecular formando radicales hiperoxi



Los radicales hiperoxi reaccionan con óxido nítrico y forman radicales hidroxilo y dióxido de nitrógeno, a partir de los que nuevamente se forman ozono por acción de la luz del sol.



6.4. CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE SOLVENTES VERDES

Sobre la base de los conceptos anteriores, para que un solvente fuese considerado “verde” debería atender plenamente la finalidad de su utilización y afectar lo mínimo posible al ser humano y el medio ambiente y no contaminarlo.

Según los siguientes criterios, es importante que el solvente o el sistema solvente que se está evaluando sean lo más eficientes en la función asignada, teniendo en consideración la tecnología disponible; los principales aspectos que se consideran tener en cuenta al evaluar solventes o sistemas solventes son:

- i. Desempeño en la aplicación
- ii. Toxicidad para los seres humanos
- iii. Carcinogénesis y toxinas reproductivas
- iv. Irritación de la piel y los ojos
- v. Toxicidad para el medio ambiente

- vi. Biodegradabilidad
- vii. Producción de neblina por una reacción fotoquímica
- viii. Destrucción de la capa de ozono (Estratosfera).
- ix. Fuentes renovables de las materias primas: impacto en el calentamiento global
- x. Disposición

Los tópicos relacionados a la toxicidad para el ser humano, carcinogénesis, irritación de la piel y de los ojos, toxicidad para el medio ambiente y biodegradabilidad serán abordados con más detalle en capítulos posteriores.

6.4.1. DESEMPEÑO EN LA APLICACIÓN

Se exigirá un conocimiento profundo de la aplicación en el caso de que exista la posibilidad de sustituir por formulaciones alternativas los solventes o los sistemas solventes que no atiendan algunos de los criterios.

En muchos sectores de la industria, como electrónica, metalúrgica, textil se usan solventes para limpieza. Históricamente los preferidos para estas aplicaciones han sido los solventes clorados por que no son inflamables, importante requisito en los procesos de limpieza a altas temperaturas, como el desengrase por vapor. El más utilizado ha sido el tricloroetano (TCA), así como CFC-113 (1,1,2-tricloro-1,2,2-trifluoretano), tricloroetileno (TCE), percloroetileno (PERC) y cloruro de metileno. Sin embargo, debido a lo estipulado en el Protocolo de Montreal, se han impuesto restricciones para la mayoría de estos solventes y se han desarrollado procesos para sustituirlos por otros menos perjudiciales al medio ambiente. Como resultando han surgido varias alternativas en la forma de hidroc fluorocarbonos (HCFCs), hidrof fluorocarbonos (HFCs), solventes oxigenados y fluidos supercríticos.

Otro ejemplo es la sustitución del tolueno presente en las formulaciones de adhesivos, siendo sustituido por solventes constituidos por solventes oxigenados y alifáticos, que son menos tóxicos para el ser humano. En Chile está prohibido por ley incluir tolueno en la formulación de los adhesivos de contacto

destinados al mercado minorista. Las empresas lo sustituyen empleando una mezcla de solventes oxigenados y alifáticos.

6.4.2. DESTRUCCIÓN DE LA CAPA DE OZONO

El sistema solvente no puede contener productos que destruyan la capa de ozono. Los compuestos que agotan la capa de ozono son aquellos cuyo potencial sea superior a 0.01 (CFC-11 es 1.0).

- **Clorofluorocarbonos** CFCs, debido a su estabilidad, y a no ser tóxicos, corrosivos o inflamables, se usaron profusamente en refrigeradores, acondicionadores de aire, como propelente de aerosoles, disolventes, espumas y otras aplicaciones. Su Potencial de Agotamiento de Ozono (ODP por sus siglas en Ingles – Ozone Depletion Prevention) en general es 1, -de hecho el del CFC-11 se utiliza como unidad para el cálculo de este índice-.
- **Hidroclorofluorocarbonos** HCFCs, fueron desarrollados como el principal reemplazo de los CFCs. Debido a su menor ODP, de 0.005 a 0.520, han desarrollado un papel de transición desde los CFCs a los HFCs, de ODP 0. No obstante se está eliminando su uso y en la actualidad (y hasta 2015) sólo se permite el uso de HCFCs regenerados para el mantenimiento de equipos de refrigeración y aire acondicionado.
- **Halones**, por las propiedades que posee el Bromo como inhibidor de la combustión, su escasa toxicidad, y por no dañar los bienes protegidos, se usaron en sistemas contra incendios. Sus ODP son elevados, oscilando entre 3 del H-1211 empleado en extintores y 10 del H-1301, empleado en sistemas fijos. Los halones se retiraron de los sistemas de manera general en 2004, si bien está permitido su uso en una serie de aplicaciones críticas, aviación y usos militares, principalmente.
- **Tetracloruro de carbono** (CCl₄) y metilcloroformo (1,1,1- tricloroetano). Se utilizaron como disolventes, si bien su uso está prohibido en la actualidad. Su ODP es de 1.1 y 0.1 respectivamente.
- **Hidrobromofluorocarbonos** y Bromoclorometano. Los Hidrobromofluorocarbonos no fueron muy utilizados, pero se prohibió su uso de forma preventiva. Su ODP oscila entre 0.3 y 7.5. Lo mismo

ocurrió con el Bromoclorometano, que fue prohibido para evitar un aumento de su uso como disolvente y contra incendios. Su PAO es de 0.12.

- **Bromuro de metilo** (CH₃Br): su uso en cultivos se eliminó totalmente en 2008, y su empleo en aplicaciones de cuarentena y preembarco quedó prohibido a partir del 18 de marzo de 2010. Su PAO es de 0.6.

6.4.3 FUENTES RENOVABLES DE MATERIAS PRIMAS:

IMPACTO EN EL CALENTAMIENTO GLOBAL

Con el propósito de evaluar un sistema “verde” es importante considerar el origen de la materia prima de los solventes utilizados. Según su origen las materias primas se pueden clasificar como:

- Renovables
- No renovables

El CO₂ es un gas que contribuye al calentamiento global. Con la quema de sustancias orgánicas se libera CO₂, que va a la atmósfera, pero también es utilizado por las plantas como una fuente de carbono.

Las fuentes renovables son las que utilizan el CO₂ de la atmósfera para producir la materia prima con que se fabrica el solvente. Cuando el solvente se degrada o se quema, se vuelve a generar CO₂; el resultado de este ciclo es que no hay una producción adicional de CO₂ en la atmósfera. Este es el caso de las materias primas que provienen de las plantas, por ejemplo, el etanol proveniente de la caña de azúcar.

Las fuentes no renovables son aquellas que a pesar de que utilizan directa o indirectamente CO₂ para producir materia prima, el tiempo para consumirlo es muy grande pudiendo llegar a miles de años. En estos casos se considera que cuando la sustancia se degrada prácticamente no se consume CO₂, solamente se produce y aumenta su concentración en la atmósfera contribuyendo, consecuentemente, al aumento del calentamiento global. Un ejemplo de dichas sustancias lo constituyen las materias primas provenientes del petróleo.

Si se adoptase un criterio “verde” para evaluar sistemas solventes, se debería optar por aquellos que tengan mayor número de solventes provenientes de fuentes renovables.

6.5. EJEMPLOS DE CLASES DE SOLVENTES VERDES.

El objeto principal de esta sección es despertar la conciencia de la necesidad de cuestionar los sistemas solventes utilizados actualmente, y verificar si hay alternativas de trabajar con sistemas que tengan características más “verdes”.

A continuación se presentan algunos criterios que se siguen con la finalidad de contar con un sistema más “verde”:

- Sustitución de solventes o sistemas solventes que presenten riesgos, por otros que tengan propiedades mejores en cuanto a seguridad, salud ocupacional y medio ambiente. Ejemplo: utilización de solventes de mayor bio-degradabilidad y disminución del potencial de destrucción de la capa de ozono.
- Utilización de sistemas base agua, es decir, sistemas que utilizan el agua como solvente. Sin embargo, es importante de destacar que, incluso en estos sistemas es necesario agregar un solvente orgánico para conseguir el desempeño deseado.
- Sustitución de solventes orgánicos por otros fluidos, como los fluidos supercríticos. Un ejemplo es en el procesamiento de polímeros, la utilización de CO₂ en vez de clorofluorocarbonos (CFC) que agotan el ozono de la estratósfera.
- Utilización de líquidos iónicos que debido a su baja presión de vapor, disminuyen la emisión atmosférica. Los líquidos iónicos son compuestos órgano-metálicos que se encuentran en forma líquida a temperatura ambiente. Se hacen investigaciones para determinar si estos compuestos presentan alguna toxicidad para el ser humano o el medio ambiente. Como ejemplo se puede citar el 1-etil-3 metil imidazolina cloruro de aluminio (III), que es líquido a temperatura superiores a -

90° C. Es un solvente no volátil con poder de solvatación en un gran número de reacciones orgánicas como oligomerizaciones, polimerizaciones, alquilaciones y acilaciones.

- La eliminación completa de un solvente, implica la eliminación de cualquier riesgo de contaminación que este pudiera ocasionar. Por ejemplo, la industria de pinturas tiene sistemas sin solventes, como la pintura en polvo. Sin embargo es necesario tener cuidado con este tipo de acciones porque la remoción del solvente puede llevar aparejada la necesidad de desarrollar tecnologías más rigurosas para separar los efluentes creados.

7. MEDIO AMBIENTE Y EFECTOS EN LA SALUD

7.1. Medio Ambiente.

Los solventes son ampliamente usados en los más variados ramos de la actividad antropogénicas y pueden llegar a el medio ambiental (aire, agua, suelo y sedimentos) en cualquier etapa de su ciclo de vida, ya sea durante su producción, utilización, o en su etapa de destrucción.

7.1.1. LOS SOLVENTES Y SU COMPORTAMIENTO EN EL ECOSISTEMA.

La mayor o menor facilidad que tiene un solvente para alcanzar un comportamiento ambiental y causar efectos adversos en el ambiente está asociado a diversos factores, entre otros se puede citar la cantidad del producto, las condiciones climática y meteorológicas del medio, el tipo de sector ambiental al que ha llegado el producto, etc. El factor dominante para la afectación en el ecosistema está asociado a las propiedades físico-químicas del solvente en cuestión.

Las características intrínsecas del comportamiento ambiental pueden favorecer la mayor o menor disposición para la afectación en los tejidos de los organismos vivos (biota) debido a su potencial de absorción o adsorción, condición necesaria para indicar un efecto adverso.

Se puede inferir el comportamiento de un solvente en un determinado sector ambiental por medio de informaciones ecológicas basadas en sus propiedades físico-químicas y/o de datos experimentales.

7.1.2. PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS.

Las propiedades físico-químicas de un solvente dependen de su estructura molecular, lo que constituye una información fundamental para entender y predecir su comportamiento en los ecosistemas.

ESTADO FÍSICO

Cuando los solventes se encuentran en estado líquido, debido a la presión de vapor, pueden ocupar todos los sectores ambientales, pero cuando se encuentran en estado gaseoso van fundamentalmente al aire.

pH

El pH es una medida de la acidez o la basicidad de un producto y permite evaluar los posibles efectos corrosivos o irritantes sobre la piel o los ojos, algunos efectos sobre el medio ambiente y también sobre metales. Puede variar de 0 (fuertemente ácido) a 14 (fuertemente alcalino).

PESO MOLECULAR

Los solventes de bajo peso molecular tienen una mayor tendencia a volatizarse y foto-degradarse en la atmósfera, mientras que los de alto peso molecular tienden a ser absorbidos por la materia orgánica.

PRESION DE VAPOR

Da una medida de la volatilidad de un agente químico en estado puro y también permite determinar la rapidez de volatilizarse desde los suelos o aguas contaminados hacia la atmósfera. El índice de volatilidad depende de la temperatura, la velocidad del viento, las condiciones del suelo, las características de adsorción y la solubilidad del solvente en el agua. En general un solvente cuya presión de vapor sea relativamente baja su afinidad será alta por suelos o agua y tendrá una menor probabilidad de evaporarse hacia la atmósfera pero un solvente de alta presión de vapor tendrá baja afinidad por el suelo o el agua.

SOLUBILIDAD EN AGUA

Se refiere a la máxima concentración de un solvente químico que se disuelve en una cantidad definida de agua pura. En general se encuentra en el rango de 1 a 100 mg/l. La solubilidad de un solvente en agua es función de la temperatura y de propiedades específicas del solvente. Como cada solvente tiene un grado de solubilidad específico se pueden encontrar solventes disueltos en agua en diferentes concentraciones.

Las condiciones ambientales, como la temperatura y el pH, pueden influir en la solubilidad. En general los solventes muy solubles en agua tienen una baja afinidad de adsorción en suelos y son fácilmente transportados desde los suelos contaminados hacia los cuerpos de agua superficiales o subterráneos.

La volatilidad está directamente relacionada con la solubilidad en agua, esto es, los solventes muy solubles en agua tienden a ser menos volátiles. Se puede determinar la solubilidad siguiendo el procedimiento estándar de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico 105 (OCDE).

De acuerdo con Petrus (1995) se puede determinar la solubilidad como se muestra en la tabla 7.1.

Rango de Solubilidad (g/L)	Clasificación
> 1000	Muy Soluble
100 a 1000	Fácilmente soluble
33.3 a 100	Soluble
10 a 33.3	Suficientemente soluble
1 a 10	Poco soluble
0.1 a 1	Muy poco soluble
< 0.1	Prácticamente insoluble

TABLA 7.1

DENSIDAD

El comportamiento en acuíferos para una determinada sustancia se puede predecir si se lo asocia a otras propiedades. Los solventes de baja solubilidad y densidad menor a la del agua tienden a formar una fase libre, denominada Light Non-Aqueous Phase Liquids (LNAPL), que flota sobre la superficie acuosa. Los solventes de baja solubilidad y densidad mayor que la del agua tienden a migrar a través de las diferentes capas del suelo hasta llegar a una capa impermeable y dar origen a Dense Non-Aqueous Phase Liquids (DNAPL).

LIPOSOLUBILIDAD

La liposolubilidad permite estimar la tendencia de un solvente a acumularse en los tejidos grasos de los organismos vivos (peces, aves, mamíferos). Representa la cantidad de solventes disueltos en 100 g de aceite o grasa estándar a una temperatura de 37°C y se expresa en mg/100g a 37°C.

COEFICIENTE DE PARTICION (Kow)

Es un dato específico de cada solvente, que sirve para estimar su comportamiento eco-químico y ecotoxicológico (absorción por el suelo, absorción biológica, bio-concentración y acumulación en los tejidos grasos).

Las siglas Kow, son representativas del coeficiente de partición n-octanol/agua (K=Coeficiente; O=n-octanol; W=agua)

El coeficiente de partición es una medida de la proporción en que un solvente se reparte entre una fase acuosa y una fase orgánica no miscible, que sirve para determinar el potencial de transferencia del solvente a partir del ambiente acuático y su eventual bio-acumulación.

En el tejido graso de los organismos vivos se acumulan solventes con valores altos de Kow; por eso una manera de estimar el potencial de bio-concentración de un solvente es medir su grado de lipofilia. La lipofilia, según el "Observatorio de Salud y Medio Ambiente de Andalucía" es la afinidad por grasas y lípidos de alta solubilidad, en otras palabras un lipófilo es el comportamiento que toda molécula tiene por su afinidad por los lípidos. Como es muy difícil obtener directamente esta medida se usa el índice de Kow

para predecir la tendencia de un solvente a distribuirse entre el octanol (que aquí representa los compuestos orgánicos grasos) y el agua. El índice de Kow está directamente relacionado con la tendencia a concentrarse en la biota e inversamente con la solubilidad en agua ($Kow = \frac{C_{octanol}}{C_{agua}}$). El coeficiente de partición octanol/agua se puede determinar según los procedimientos normalizados OECD 107 y OECD 117 (OCDE, Organisation for Economic Cooperation and Development). Se puede encontrar estos procedimientos en la OECD en www.ocde-ilibrary.org. (Ref: Partition Coefficient (n-octanol/wáter): Shake Flask Method, July 27, 1995.)

CONSTANTE DE HENRY

Esta constante, que representa el coeficiente de partición aire/agua, considera el peso molecular, la solubilidad y la presión de vapor e indica el grado de volatilidad de un solvente en una solución. Si un solvente tiene alta solubilidad en agua y relativamente baja presión de vapor, permanecerá disuelto en el agua. Pero si su presión de vapor es alta con relación a su solubilidad en agua, la constante de la Ley de Henry también será alta y el solvente se volatizará. En la tabla 7.2 se representan los rangos de volatilidad en función de los valores de la constante de la Ley de Henry (Fuente: ATSDR (1992)-Agency for Toxic Substances & Disease Registry. www.atsdr.cdc.gov)

Volatilidad	Rango de valor (atm m ³ /mol)
No volátil	Menor que 3×10^{-7}
Baja volatilidad	3×10^{-7} a 3×10^{-5}
Volatilidad moderada	1×10^{-5} a 1×10^{-3}
Alta volatilidad	Mayor que 1×10^{-3}

TABLA 7.2

7.1.3. INFORMACIONES ECOLOGICAS

Las informaciones ecológicas comprenden las informaciones relativas al comportamiento probable de un solvente en un ecosistema, tales como la movilidad, la persistencia, la degradabilidad, la bio-acumulación y también los efectos posibles sobre la vida acuática y el medio ambiente en general (eco toxicidad).

Es importante destacar que el comportamiento ambiental de una preparación (mezcla de solventes) puede ser completamente diferente del de cada uno de los componentes en forma aislada. El resultado puede ser aditivo, sinérgico o antagónico.

A continuación se mencionan las principales características de un solvente, que en el ámbito ecológico, se encuentran en las publicaciones científicas y se puede deducir a partir de sus propiedades físico-químicas y/o obtener experimentalmente:

La movilidad es una de las características más importantes y se refiere a las posibles transferencias de una sustancia entre los diferentes sistemas ambientales, estando asociada a las siguientes propiedades:

1. Volatilidad
2. Absorción/desorción
3. Precipitación
4. Tensión superficial
5. Compartimiento blanco del solvente
6. Degradación biótica o bio-degradabilidad
7. Persistencia
8. Fotoreactividad
9. Bio-acumulacion
10. Factor de Bio-concentracion (FBC)
11. Exotoxicidad
12. Ecotoxicidad
13. Efectos sobre los organismos acuáticos
14. Efectos sobre los organismos terrestres
15. Efectos nocivos diversos

7.1.4. POTENCIAL DE FORMACIÓN FOTOQUÍMICA DE OZONO

Se han creado diversas escalas de reactividad fotoquímica para clasificar los compuestos orgánicos con relación a su potencial de producción de ozono, entre ellas la escala “Máximo Incremental Reactivity” (MIR), creada por Carter (1998) para la organización “California Air Resources Board”. Se basa en la reactividad adicional que corresponde al número de moléculas de ozono formadas por átomo de carbono agregado a la mezcla atmosférica de VOC original para una dada relación de VOC/NO_x. La medida de MIR corresponde al máximo de Reactividad Adicional de un dado VOC expresada en g O₃/g VOC.

En la tabla 7.3 se presentan los valores de algunos productos.

Valores de reactividad adicional - MIR (gramos de ozono formado por gramo de producto)

Substancia	MIR (g/g)	Substancia	MIR (g/g)
Acetato de Amílo	1.16	Ciclobutanona	0.73
Acetato de Etílo	0.8	Dimetil Éter	1.02
Acetato de Isobutílo	1.08	Etanol	1.92
Acetato de Isopropílo	1.21	Etil Benceno	2.97
Acetato de n-butílo	1.14	Etilenglicol	5.66
Acetato de propílo	0.98	Glicerol	3.76
Acetato de s-butílo	1.72	Metanol	0.99
Acetato de t-butílo	0.21	Metil Butil Éter	1.34
Acetileno	1.23	Isobutirato de Metilo	0.42
Acetona	0.48	m-Xileno	11.06
Ácido Acético	0.67	o-Xileno	7.83
Ácido Propiónico	1.37	Propilenglicol	2.65
Alcohol Isopropílico	0.81	p-Xileno	4.44
Benceno	1	Tolueno	4.19
Fuente: Carter 1998			

TABLA 7.3

La relación completa de los valores de MIR se pueden encontrar en el trabajo de Carter en <http://pah.cert.ucr.edu/~carter/r98tab.htm>.

7.1.5. POTENCIAL DE DESTRUCCIÓN DE LA CAPA DE OZONO

La denominada capa de ozono (O_3), es una capa en donde este gas está altamente concentrado y se encuentra en la alta atmosfera, entre los 15 y los 50 km de altura, es decir, en la estratósfera. Esta capa filtra la mayor parte de la radiación ultravioleta (UV-B) biológicamente nociva, que tiene efecto sobre la salud y el medio ambiente.

A continuación se presentan las sustancias química de origen natural y antropogénico (creados por el ser humano) que según la Convención de Viena para la Protección de la Capa de Ozono podrían modificar las propiedades físicas y químicas de la capa de ozono.

- Sustancias del grupo del carbón: Monóxido de Carbón (CO), Dióxido de Carbón (CO_2), Metano (CH_4) y los derivados de hidrocarburos sin metano.

Los derivados de hidrocarburos sin metano están constituidas por un gran número de sustancias químicas que pueden provenir tanto de fuentes naturales como antropogénicas y desempeñar un papel directo en la fotoquímica troposférica e indirecto en la fotoquímica estratosférica.

- Sustancias del grupo del nitrógeno: Óxido Nitroso (N_2O), Óxido de Nitrógeno (NO_x)

Las fuentes de NO_x que se encuentran al nivel del suelo desempeñan un papel directo decisivo en los procesos fotoquímicos troposféricos y uno indirecto en la fotoquímica de la estratósfera; mientras que si hay una entrada de NO_x cerca de la capa intermediaria entre la tropósfera y la estratósfera se pueden provocar cambios de la concentración de ozono en las capas superiores de la tropósfera y de la estratósfera.

- Sustancias del grupo del cloro: Alcanos completamente o parcialmente halogenados, por ejemplo: CFC-11, CFC-12, CFC-113, CFC-114, CFC-22, CFC-21
- Sustancias del grupo del bromo: Alcanos completamente halogenados, por ejemplo: CF_3Br
- Sustancias del grupo del hidrógeno: Hidrógeno (H_2)

El hidrógeno desempeña un papel de menor importancia en la fotoquímica estratosférica.

- El agua (H₂O): El agua de origen natural desempeña un papel vital en la fotoquímica tanto de la tropósfera como de la estratósfera.

Se puede estimar el riesgo potencial que tiene una sustancia química para destruir la capa de ozono por medio del potencial de agotamiento de ozono (ODP = Ozone Depletion Prevention), que se define como el agotamiento de ozono en la estratósfera, causada por la emisión de una unidad de masa de una sustancia química con relación al agotamiento de ozono causado por la emisión de una unidad de masa de CFC-11 (triclorofluorometano) (como se muestra en la ecuación 7.1).

ECUACIÓN (7.1)
$$\text{ODP: } (\text{gr O}_3 - (\text{gr O}_3/\text{gr X})) / (\text{gr O}_3 - (\text{gr O}_3/\text{gr CFC-11}))$$

Debido a que el compuesto que más deteriora la capa de ozono es el CFC-11 (por tener tres átomos de cloro), se toma como valor máximo y referencia para poder dar valor a las demás sustancias. Como es un relación matemática los valores siempre serán menor que uno. También se observa que muchas sustancias con potencial de agotamiento de la capa de ozono tiene potencial para aumentar el calentamiento global.

Por medio del Protocolo de Montreal (explicado anteriormente) los países participantes se comprometen a sustituir las sustancias ODP, pero cabe mencionar que en tal documento se excluyen solventes no halogenados.

7.1.6. POTENCIAL DE CALENTAMIENTO GLOBAL

Se considera que la principal causa de los cambios climáticos es la emisión de los gases que producen el efecto invernadero. Para el caso existen reglamentos establecidos por la Convención Cuadro de las Naciones Unidas (UNFCCC) y el Protocolo de Kyoto y cabe mencionar que en ninguno de ellos se incluyen solventes industriales.

7.1.7. EFECTOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Los desechos de solventes vertidos en medios acuáticos pueden llegar a las plantas de tratamientos de aguas residuales urbanas o industriales, y de acuerdo con sus características pueden ser eliminados por procesos químicos y/o biológicos.

En las estaciones de tratamiento que realizan la eliminación por procesos biológicos en donde utilizan lodos activados, puede darse el caso que un solvente eventualmente puede provocar efectos adversos debido a la cantidad vertida y a su toxicidad sobre los organismos que componen los lodos activados y a su bio-degradabilidad. Como ejemplo de efectos adversos se pueden citar los choques de carga y la inhibición parcial o total del sistema biológico lo cual puede provocar la pérdida de eficiencia del tratamiento.

Para evaluar esos efectos y determinar la forma de tratar los solventes en las estaciones de tratamiento biológico se pueden realizar ensayos respirométricos de inhibición del consumo de oxígeno usando los organismos de los lodos activados (OECD 209 o ISO 8192) (Ref.: www.oecd-ilibrary.org , Guidelines for the Testing of Chemical, Sect 2, July 23, 2010) y ensayos de simulación de tratamientos por lodos activados en plantas piloto o en laboratorios (OECD 303^a o ISO 11733) (Ref.: www.oecd-ilibrary.org , Simulation test. Aerobic Sewage Treatment-A: Activated Sludge, Jan 22, 2001).

7.2 EFECTOS EN LA SALUD

Desde el punto de vista de la Salud Ocupacional se considera que potencialmente los solventes pueden producir efectos crónicos debido a las características físico-químicas de estos ya que pueden tener Compuestos Orgánicos Volátiles (VOC), los cuales pueden ser absorbidos a través de la piel y pasar a la corriente sanguínea o entrar por vía respiratoria.

7.2.1 LOS SOLVENTES EN EL CONTEXTO DE LA SALUD HUMANA.

En el sentido fisiológico se considera que un material se ha absorbido cuando ha penetrado en la corriente sanguínea y como consecuencia se ha transportado a todas las partes del cuerpo. Un elemento que se ha ingerido y posteriormente excretado a través de la materia fecal no ha sido necesariamente absorbido, a pesar de haber permanecido durante horas o días en el organismo. Este es el gran desafío para el profesional de la salud que actúa en el área industrial: entender el proceso en la relación entre el producto y las reacciones biológicas y fisiológicas del organismo humano. En este punto se hace necesario colocar algunos conceptos para entender el denominado mecanismo de absorción por las vías antes citadas.

- **Absorción a través de la piel:** La absorción por la piel está directamente relacionada con los efectos del contacto de la misma con los solventes orgánicos. Por medio de análisis clínicos se pueden detectar cantidades significativas de estos compuestos en la corriente sanguínea, que pudieran entrar a través de la piel, por contaminación directa accidental o por gotas que hayan caído sobre la ropa. El uso de solventes industriales para remover grasas y restos de materiales de las manos y los brazos es frecuente (esta práctica, difícil de combatir, representa una fuente potencial de dermatitis).
- **Absorción por vía respiratoria:** Algunas publicaciones en el campo de la medicina del trabajo, muestran que más del 90% de todos los efectos sobre la salud excluyendo la dermatitis, se debe a la absorción por vía respiratoria. Varias sustancias nocivas se encuentran suspendidas en el aire en varias formas: las nieblas y los vapores que forman los solventes se mezclan con el aire que se respira y se comportan como gases verdaderos. No es difícil calcular el riesgo de la presencia de un producto en el aire si se determinan las condiciones para un individuo que, en condiciones normales de trabajo, respira entre 10 y 12 metros cúbicos de aire durante una jornada de 8 horas.

Es importante mencionar que no se absorbe todo lo que se inhala, una parte se expele inmediatamente y una parte queda impregnada en el moco que se encuentra en la tráquea. Una parte de este moco se expulsa y otra parte se traga y el intestino lo absorbe. Los gases emitidos por varias sustancias y productos (y en el caso de los solventes, con intensidad) recorren libremente el tracto respiratorio hasta llegar a los pulmones y de allí pasan a la corriente sanguínea como ya se ha descrito. Por este motivo la mayoría de los solventes industriales conocidos, en un dado momento pueden contaminar la atmósfera y constituir una amenaza potencial a la salud; motivo por el cual hay un número considerable de programas de prevención ocupacional que utilizan tecnologías de ventilación para reducir los peligros.

En este punto es importante reflexionar sobre el termino Susceptibilidad Individual, muy utilizado por autores de diferentes corrientes que publican sobre el tema de Salud e Higiene Industrial. No se trata de una definición sino de un concepto para una reacción de causa/efecto adversa, por qué en condiciones semejantes de exposición a sustancias con efectos potencialmente peligrosos, los individuos responden de formas diferentes. Algunos pueden no presentar evidencias de intoxicación, otros presentan señales débiles, mientras que otros presentan señales serias, incluso fatales. Esta característica de respuesta individual, que en el tratamiento de las causas de salud ocupacional se denomina susceptibilidad, se puede deber a factores hereditarios o a particularidades anatómicas del cuerpo humano, por ejemplo, configuración de la cavidad nasal, permeabilidad de los pulmones, etc. El conjunto de las información fisiológicas sumadas al conocimiento sobre el funcionamiento anormal del hígado (el órgano que actúa en el proceso de desintoxicación y secreción de sustancias peligrosas) y los conocimientos del médico del trabajo, definen el grado de susceptibilidad del individuo que ha tenido la exposición.

En el ámbito de la industria química el profesional de la salud se enfrenta con cierta frecuencia con problemas derivados de los efectos de exposición como resultados de accidentes provocados por una elevada concentración de productos tóxicos. Los efectos agudos que generalmente se presentan en el casos de los solventes son: Pérdida de la conciencia, Shock o Colapso, Inflamación grave de los pulmones, e incluso la muerte súbita; para tratar estos efectos es de vital importancia el conocimiento que tenga el

médico sobre el agente agresor. En el caso de los efectos crónicos el profesional necesita saber que ha causado tal efecto, o sea la evidencia de que un agente peligroso está presente en concentraciones significativas y que ha sido absorbido, además que la presencia de dicho solvente sea manifiesta por medio de ciertos disturbios que experimentalmente sean comprobables en las funciones fisiológicas del individuo. Los efectos tóxicos causados por absorción se pueden comprobar por medio de análisis de sangre y orina. Los propios metabolitos excretados en esos fluidos constituye evidencia, sin embargo hay que destacar la importancia de la comprobación efectiva de que un individuo que ha estado sometido a la exposición de un producto tóxico está bajo los efectos de su absorción en concentraciones superiores a las encontradas en personas que no han estado expuestas. También es preciso demostrar que los disturbios se diagnostican por procedimientos de la medicina ocupacional, como la ficha médica, el análisis físico, las radiografías u otras técnicas físicas, las radiografías u otras técnicas de medición instrumental comprobadas, además de los análisis de sangre y orina, formando el conocido diagnóstico de Nexo Causal.

Entre los productos de la industria de solventes se destaca el benceno, producto que es motivo de discusión debido a sus efectos tóxicos crónicos sobre órganos vitales, lo cual está científicamente y prácticamente comprobado. Aun en las primeras fases de contacto se pueden detectar pequeñas cantidades de producto en la sangre. Pero no solamente son los solventes, hay muchos otros productos que pueden producir efectos perceptibles después de largos periodos de exposición, lo que los coloca en posición de alerta ocupacional, sin contar los que tienen acción acumulativa como algunos metales como el plomo o el mercurio.

Una cuestión polémica, importante y no poco frecuente en las actividades habituales de un profesional de la salud ocupacional, es el diagnóstico de problemas de salud relacionados con procesos laborales. El diagnóstico del médico especialista es de fundamental importancia para las decisiones judiciales por que permite comprender las diferencias entre Causa Relacionada y Causa Posible. La causa posible es la que podría producir un efecto peligroso. Representa una posibilidad, y esa característica subjetiva exige que

el médico tenga un profundo conocimiento sobre los efectos tóxicos de los productos manipulados en la industria y como se usan. La causa relacionada existe solamente si una causa probable efectivamente ha producido efectos dañinos. Es decir que la probabilidad es una herramienta, pero las informaciones decisivas provienen de los conocimientos disponibles en los bancos de datos acreditados de Higiene y Salud. Debe destacarse la importancia de la relación entre el médico y el higienista, ya que la medicina no es una ciencia exacta y necesita basarse en hechos y observaciones aportadas por la actividad de la Higiene.

7.2.2. CARCINOGENESIS / MUTAGENESIS / TÓXICOS PARA LA REPRODUCCIÓN HUMANA – CMR

Existe una gran preocupación mundial para que las sustancias potencialmente nocivas, como las que pueden producir tumores cancerígenos, mutaciones genéticas o alteraciones de la reproducción, gradualmente se vayan sustituyendo por otras menos peligrosas.

Vale la pena reflexionar sobre la clasificación de un producto o sustancia como CMR – Carcinogénico, Mutágeno y Tóxico para la Reproducción humana debido a la complejidad y diversidad de información científica que se divulga por medios electrónicos. Normalmente, al tratar este asunto nos enfrentamos a casos polémicos sobre los que emiten su juicio el Higienista, el Toxicólogo y el Medio Ocupacional, quienes buscan información en campo y en las bases de datos científicas altamente confiables.

Los agentes carcinogénicos, de acuerdo con la IARC (Agencia Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer), se puede clasificar como:

Grupo 1 – carcinogénicos para humanos;

Grupo 2 – probablemente carcinogénicos para humanos;

Grupo 3 – posiblemente carcinogénicos para humanos.

Los agentes denominados mutagénicos, son los que causan alteraciones permanentes en la estructura genética de un organismo vivo, que al igual que los carcinogénicos, se clasifican de acuerdo con el grado de alteraciones provocadas en el organismo expuesto. Lo mismo ocurre con los tóxicos para la

reproducción humana o teratogénicos, que como el nombre lo indica, causan alteraciones en las funciones o en la capacidad de reproducción de los organismos vivos, principalmente en los seres humanos.

Ya que los CMR se clasifican de acuerdo con la intensidad de su efecto, es necesario acudir a matemáticas complejas, por lo cual es preferible hacer una clasificación descriptiva, sobre la base del cruce de información extraída de banco de datos idóneos:

1. Sin evidencia de carcinogenicidad, teratogenicidad o mutagenicidad;
2. Efectos carcinogénicos, teratogénicos y mutagénicos confirmados solamente para animales;
3. Sospecha de que sean carcinogénicos, teratogénicos o mutagénicos para seres humanos.
4. Efectos carcinogénicos, teratogénicos o mutagénicos confirmados por seres humanos.

La manipulación de sustancias potencialmente CMR exige cuidados especiales y un riguroso control de materias primas y productos. Este conocimiento permite orientar las acciones de control, tanto en el ámbito de la Higiene y Salud laboral como en el de la protección al Medio Ambiente, y las actividades de investigación y desarrollo para sustituir sustancias potencialmente tóxicas e implementar tecnologías de punta para proteger a los trabajadores; además permite mejorar el contenido de las MSDS, Hojas de Información de Seguridad.

7.2.3 EFECTOS NEUROTÓXICOS.

En los bancos de datos idóneos mencionados anteriormente se encuentran información de ensayos *in vitro* e *in situ* de trabajos de investigación y seguimiento de varios años en el área de la salud ocupacional con respecto de los efectos potenciales sobre el Sistema Nervioso Central (SNC). Considerando los criterios de GHS (Globally Harmonized System), la información disponible y las directrices propuestas y publicadas en el documento de NIOSH, se pueden establecer grados de neurotoxicidad de los solvente de acuerdo con su acción sobre el SNC. Esto constituye una herramienta que ayuda tanto a fabricantes como a usuarios a proteger la salud humana y desarrollar productos menos peligrosos.

En la tabla 7.4 se presenta un criterio de clasificación para solventes en función de los efectos potenciales sobre el SNC debido a la exposición ocupacional, según las directrices de clasificación de NIOSH, en la publicación oficial número 87-104.

TABLA 7.4		
Categorías de solventes inductores de disturbios del sistema nervioso central		
Gravedad	Identificación según la Organización Mundial de Higienistas (WHO) en el Grupo de Trabajo realizado en Copenhague en Julio 1985	Clasificación según el Eorkshop Internacional de Solventes, realizado en Raleigh, N.C., en octubre 1985
Minima	Síndromes emocionales	Tipo 1
Moderada	Enfermedades cerebrales crónicas de efecto tóxico medio	Tipo 2 A o 2 B
Pronunciada	Enfermedades cerebrales crónicas de efecto tóxico grave	Tipo 3

Tipo 1 - Disturbios caracterizados por fatiga; memoria debil, irritabilidad, dificultad de concentración y disturbio suave de la estabilidad

Tipo 2 A - La estabilidad emocional y el control y la motivación del impulso disminuyen

Tipo 2 B -La respuesta de las funciones intelectuales se manifiesta en la disminución de la concentración y la memoria

Tipo 3 - Se caracteriza por el deterioro global de las facultades intelectuales y de las funciones de la memoria (demencia) que pueden ser irreversibles o solamente poco reversibles.

Fuente:WHO 1985 / Baker and Seppalainen 1986. (Current Intelligence Bulletin 48 - March 31, 1987).

TABLA 7.4

Los solventes con acción neurotóxica sobre el SNC debido a la exposición ocupacional generalmente se clasifican en Tipo 1 y Tipo 2.

7.2.4. USO DEL EQUIPO DE PROTECCIÓN.

Hasta donde esta investigación bibliográfica alcanza no existe ningún organismo gubernamental (Oficial) que controlen y regulen esta actividad industrial, por lo cual haremos referencia a los estándares, controles y regulación existentes en Estados Unidos de América. Cada empresa en México tiene por ley que crear y llevar su propio control de protección para la salud y el medio ambiente.

Los riesgos existe en cada lugar de trabajo en muchas diferentes formas: Esquinas punzantes, objetos cayendo, chispas volando, químicos, ruidos y una gran cantidad de situaciones potencialmente peligrosas.

La organización de Seguridad Ocupacional y Administración de la Salud (OSHA – por sus siglas en Inglés, Occupational Safety and Health Administration) requiere que los patrones protejan a sus empleados de situaciones riesgosas en el trabajo que les pudieran causar daño.

Controlar las situaciones riesgosas desde sus orígenes es la mejor manera de proteger a los empleados.

Dependiendo del riesgo o de las condiciones del trabajo, OSHA recomienda el uso de Ingeniería o controles de prácticas de trabajo para manejar o eliminar riesgos al máximo posible. Por ejemplo, construir una barrera entre la situación riesgosa y el empleado se traduce en hacer control de ingeniería; cambiando la forma en la cual el empleado desarrolla su trabajo es un control de las prácticas de trabajo.

Cuando se hace ingeniería, la práctica de trabajo y la administración de controles no son posibles o no proveen suficiente protección, el patrón debe proveer equipo de protección personal (EPP) a sus empleados y asegurarse que lo utilicen. Equipo de protección personal, comúnmente referido como “EPP”, es equipo utilizado para minimizar la exposición a una variedad de riesgos. Ejemplos de EPP incluyen tales como: guantes, protección para pies y ojos, protección para oídos, cascos sólidos, respiradores y trajes para cuerpo completo.

Los patrones están obligados a entrenar a sus empleados que deben usar EPP. Los empleados deben de estar entrenados para conocer cuando menos lo siguiente:

- Cuando es necesario usar EPP

- Qué tipo de EPP es necesario
- Como ponerse, quitarse, ajustarse y usar apropiadamente el EPP
- Las limitaciones de EPP
- Los cuidados apropiados, mantenimiento, vida útil y como desechar el EPP.

El Patrón se debe asegurar que cada empleado demuestre un entendimiento apropiado del entrenamiento del EPP así como su habilidad de utilizarlo antes de permitirle desarrollar su trabajo. Si un patrón cree que el entrenamiento que algún empleado obtuvo en el trabajo anterior es insuficiente, este debe de ser entrenado nuevamente.

El patrón debe documentar el entrenamiento de cada empleado que requiera utilizar o usar EPP preparando un certificado que contenga el nombre de cada empleado entrenado, la fecha del entrenamiento y una identificación clara del motivo de la certificación.

Protección en la cabeza:

El proteger a los empleados de posibles lesiones en la cabeza es de suma importancia en cualquier programa de seguridad. Una lesión en la cabeza podría dañar a alguien de por vida o inclusive quitarle la vida. EL uso de un casco protector es una de las maneras más sencillas de proteger la cabeza de un empleado de alguna lesión. Los cascos pueden proteger a los empleados de impactos u penetraciones peligrosas al igual que de descargas eléctricas y quemaduras peligrosas.

Los patrones deben asegurarse que sus empleados usan protección en la cabeza si cualquiera de las siguientes situaciones se presentan:

- Objetos pueden caer de arriba y golpearlos en la cabeza.
- Posibles golpes en la cabeza con objetos fijos, tales como tuberías o vigas.
- Posible contacto accidental con elementos que transporten electricidad

Algunos ejemplos de ocupaciones en los cuales los empleados deberían de ser obligados a traer protección en la cabeza son: trabajadores en construcciones, carpintería, electricistas, plomeros,

ferrocarrileros, plantas químicas, refinerías, instaladores de tuberías, soldadores, dentro de muchas otras. Cualquier situación peligrosa en donde puedan caer objetos de arriba de ellos, tales como, trabajadores que trabajen debajo de otros que manejan herramientas en pisos superiores, o debajo de bandas transportadoras, etc., deben de traer cascos. Los cascos deben de ser adecuados para proteger por completo la cabeza del empleado, contando con visera, ala, banda de nuca, arnés. En general, los cascos deben de proteger de lo siguiente:

- Resistir penetraciones de objetos.
- Absorber impactos
- Resistentes al agua e inflamables o de lenta combustión.
- Tener claras las instrucciones que expliquen apropiadamente el ajuste y remplazo de la banda.

Protección de piernas y pies.

Empleados que trabajen en ambientes en donde puedan tener posibles lesiones de pies y piernas de la caída de algún objeto o algún golpe o penetración de objetos debe usar zapato protector. Así mismo, empleados que trabajen en ambientes donde estén expuestos a sustancias calientes o corrosivas o materiales dañinos deben usar protección que cubra partes del cuerpo expuestas, incluyendo piernas y pies. Si los pies de un empleado pudieran estar expuestos a peligros eléctricos, se deberán utilizar zapatos no conductores de electricidad. Por otro lado, ambientes de trabajo expuestos a electricidad estática podría necesitar usar zapatos conductores. Ejemplos de situaciones en las cuales un empleado deberá usar protección en los pies y/o piernas:

- Cuando objetos pesados como barriles o herramientas podrían caer o rodar hacia los pies.
- Trabajando con objetos corta punzantes como cuñas o picos que puedan atravesar la suela o la parte superior de un zapato ordinario.
- Exposición a metal fundido que podría salpicar en los pies o en las piernas.

- Trabajar sobre o alrededor de cosas calientes, húmedas o superficies resbalosas o trabajar cuando exista peligro potencial de descarga eléctrica.

Protección de manos y brazos

Si la evaluación de peligro en el lugar de trabajo revela que los empleados enfrentan una potencial lesión en las manos o brazos que no puede ser eliminada por medio de la ingeniería y/o los controles de las prácticas de trabajo, entonces los patrones deberán asegurarse que los empleados tengan protección adecuada. Peligros potenciales incluyen: absorción en la piel de sustancias dañinas, quemaduras térmicas o químicas, peligros eléctricos, golpes, raspaduras, cortadas, picaduras, fracturas o amputaciones. Equipo protector incluye guantes, protectores de dedos y cubiertas para brazos o protectores para codos.

Patrones deberán explorar todas la posible ingeniería y controles de prácticas para eliminar el peligro y utilizar PPE para proveer protección adicional en contra de los peligros que no pueden ser completamente eliminados de otra manera. Por ejemplo, protectores de máquinas podrían eliminar el peligro, instalar una barrera para prevenir que los trabajadores pongan las manos en puntos de contacto entre la máquina de sierra y el material que se está cortando, etc.

8.0 PROGRAMAS Y ORGANIZACIONES REGULADORAS DE LA PROTECCIÓN A LA SALUD Y AL MEDIO AMBIENTE

El programa de Responsabilidad Integral tiene como antecedentes los estudios realizados para conocer la percepción de la comunidad acerca de la Industria Química, los cuales arrojan resultados no muy favorables por la preocupación surgida con el riesgo latente de los productos que se manejan, lo cual actúo como detonante para impulsar a la industria a prestar atención a este problema.

La primera industria en el mundo que decidió establecer un Programa para responder a la inquietud pública fue la industria Canadiense, la cual empezó a formular una serie de principios y metas a alcanzar

para mejorar todos los aspectos relacionados con la seguridad, la salud y el medio ambiente. Su área jurídica consideró, sin embargo que esta iniciativa debía dejarse a un lado porque pensaron que tendrían resultados contraproducentes y podrían inquietar más a la comunidad. El accidente ocurrido en Bophal, India, en el cual se liberó súbitamente una nube tóxica conteniendo isocianato de metilo, lo cual creó consternación mundial y movilizó a la industria internacional, particularmente a la canadiense la cual retomó su iniciativa original de desarrollar un programa "Responsible Care" y empezaron a promover su adopción en 1985 en Canadá y en otros países.

México a través de la Asociación Nacional de la Industria Química (ANIQ), adoptó este Programa 1991 bajo el nombre de Responsabilidad Integral, siendo el primer país de América Latina en hacerlo y el décimo en el mundo (actualmente este programa ya ha sido adoptado por industrias en cerca de 40 países). Las características de dicho Programa como se aplica en el País, se describen a continuación.

Responsabilidad Integral es una nueva forma de administrar los negocios de la Industria Química a nivel mundial, que le permite en forma voluntaria tomar las medidas necesarias para resolver los problemas ambientales, de salud y seguridad originados por sus operaciones de una manera responsable.

Este Programa pretende que las compañías que lo adopten transformen su cultura y desarrollen un proceso de mejora continua que les permita en primera instancia, cumplir con las leyes y reglamentos vigentes en el país, así como mantener una relación armónica con autoridades y alcanzar niveles de desempeño que les permita reforzar su competitividad en los mercados nacional e internacional.

El organismo ICCA (International Council of Chemical Associations) para atender a las crecientes demandas de la sociedad, de los clientes y del propio sector, mantiene el programa Responsabilidad Integral como una de sus principales iniciativas. Los puntos principales a los que se enfoca este programa son a la mejora del desempeño, de la comunicación y de la responsabilidad por medio de la implementación y manutención de un conjunto de prácticas de gestión a decir: Seguridad de Procesos, Transporte y Distribución, Protección Ambiental, Salud y Seguridad del Trabajador, Dialogo con la Comunidad y Preparación y Atención de Emergencias y Gestión de Producto.

Tras la publicación de la Carta Global de Responsabilidad Integral (Responsible Care Global Charter) en 2005, Responsabilidad Integral se considera una iniciativa de la industria química global, por lo cual las empresas, representadas por sus asociaciones nacionales, se comprometen a trabajar de manera conjunta para mejorar continuamente el desempeño de sus productos y procesos observando medidas de seguridad, higiene industrial, salud y medio ambiente y contribuir al desarrollo sostenible de las comunidades locales y de la sociedad como un todo.

Tutela de Producto (Product Stewardship) se puede traducir como la administración ética y responsable de los aspectos de salud, seguridad y medio ambiente de un producto químico a lo largo de su ciclo de vida. Cuando se pone en práctica este concepto se obtiene como resultado una continua reducción de los impactos sobre la salud, la seguridad y el medio ambiente que causan los productos que se colocan en el mercado. Esto se logra por medio de acciones como la comercialización de productos más seguros y que no dañan el medio ambiente, el perfeccionamiento del control de las emergencias y la reducción de los accidentes y la disminución de su gravedad sobre la base del conocimiento de los peligros y la gestión de los riesgos asociados a la utilización de dichos productos.

En 2006 la International Conference on Chemicals Management (ICCM) adoptó el Strategic Approach to International Chemicals Management (SAICM) del United Nations Environment Programme (UNEP), que es la estructura de una política de alcance internacional sobre los peligros de los productos químicos. SAICM brinda el apoyo necesario para que se cumplan los objetivos ratificados en 2002 durante el Johannesburg World Summit on Sustainable Development, en el que se estableció que hasta 2020 los productos químicos serían elaborados y usados de forma tal que los impactos negativos sobre la salud y el medio ambiente deberían ser mínimos.

8.1 PROGRAMAS NACIONALES: NOM Y NMX

Marco normativo vigente en materia de contaminantes

El organismo regulador de estos programas y organizaciones es la SEMARNAT y la Secretaría de Economía.

La Ley General de Salud establece en su *Título Séptimo*, "Promoción de la Salud" *Capítulo IV*, "Efectos del Ambiente en la Salud" (Artículos 116 y ss) que, en materia de efectos del ambiente en la salud de la población, corresponde a las autoridades de salubridad establecer normas, tomar medidas y realizar actividades tendientes a proteger la salud humana ante los riesgos y daños que pudieran ocasionar las condiciones del ambiente, así como determinar los valores de concentración máxima permisibles para el ser humano de los contaminantes atmosféricos. Con base en lo anterior, la Secretaría de Salud ha emitido diversas Normas Oficiales Mexicanas.

NOM-020-SSA1-1993: Salud ambiental. Criterio para evaluar el valor límite permisible para la concentración de ozono (O₃) de la calidad del aire ambiente.

NOM-021-SSA1-1993: Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al monóxido de carbono (CO). Valor permisible para la concentración de monóxido de carbono (CO) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.

NOM-022-SSA1-2010: Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al bióxido de azufre (SO₂). Valor normado para la concentración de bióxido de azufre (SO₂) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población".

NOM-023-SSA1-1993: Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al

bióxido de nitrógeno (NO₂). Valor normado para la concentración de bióxido de nitrógeno (NO₂) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.

NOM-025-SSA1-2014, Salud ambiental. Valores límites permisibles para la concentración de partículas suspendidas PM10 y PM2.5 en el aire ambiente y criterios para su evaluación.

NOM-026-SSA1-1993: Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al plomo (PB). Valor normado para la concentración de plomo (PB) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.

Por su parte el artículo 111° fracción I de la *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente* (LGEEPA) señala como una de la facultades de la SEMARNAT en materia de prevención y control de la contaminación atmosférica, expedir las normas oficiales mexicanas que establezcan la calidad ambiental de las distintas áreas, zonas o regiones del territorio nacional con base en los valores de concentración máxima permisible para la salud pública de contaminantes en el ambiente determinados por la Secretaría de Salud.

Actualmente se cuenta con tres Reglamentos en materias relacionadas con la atmósfera:

- Reglamento para la *Protección del Ambiente Contra la Contaminación Originada por la Emisión del Ruido* (29 de noviembre de 1982).
- Reglamento de la LGEEPA para la *Prevención y Control de la Contaminación Generada por los Vehículos Automotores que circulan por el Distrito Federal y los Municipios de su Zona Conurbada* (18 de noviembre de 1988).

- Reglamento de la LGEEPA en materia de *Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera* (23 de noviembre de 1988, revisado, reformado y publicado en el DOF el 3 de junio de 2004 con el Reglamento de la LGEEPA en materia de Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes [RETC]).

- Reglamento en materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera de la LGEEPA, señala en el Artículo 7° fracción IV, que es competencia de la Secretaría responsable del sector ambiental (actualmente SEMARNAT), la expedición de normas "para la certificación de la autoridad competente de los niveles de emisión de contaminantes a la atmósfera provenientes de fuentes determinadas" ; para tal efecto la Secretaría ha emitido las siguientes normas en lo que respecta a monitoreo ambiental, fuentes fijas, características de combustibles, contaminación por ruido y fuentes móviles:

Monitoreo Norma Oficial Mexicana	Medición de concentraciones:
NOM-156-SEMARNAT-2012	Establecimiento y operación de sistemas de monitoreo de la calidad del aire
NOM-034-SEMARNAT-1993.	Monóxido de carbono
NOM-035-SEMARNAT-1993	Partículas suspendidas totales Norma vigente. Actualmente se está trabajando en la elaboración de las correspondientes normas de medición de las partículas menores a 10 micrómetros (PM10) y partículas menores a 2.5 micrómetros (PM2.5). (Revisión Julio, 2015)
NOM-036-SEMARNAT-1993	Ozono
NOM-037-SEMARNAT-1993	Bióxido de nitrógeno
NOM-038-SEMARNAT-1993	Bióxido de azufre

Fuentes fijas

Norma Oficial Mexicana	Niveles máximos permisibles de emisiones a la atmósfera
NOM-039-SEMARNAT-1993	Bióxido y trióxido de azufre y neblinas de ácido sulfúrico en plantas productoras de ácido sulfúrico.
NOM-040-SEMARNAT-2002	Protección ambiental-Fabricación de cemento hidráulico- Niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera. <i>Modificación DOF 20-ABRIL-2004.</i>
NOM-043-SEMARNAT-1993	Niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas sólidas provenientes de fuentes fijas. Norma en proceso de revisión, para establecer los límites máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas sólidas provenientes de fuentes fijas. Además de incluir en la norma el procedimiento para la evaluación de la conformidad. En lo que respecta a la modificación de los niveles máximos permisibles, es preciso señalar que la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, se coordinará con la Secretaría de Salud para seguir los lineamientos establecidos en los instrumentos regulatorios que brindan el soporte legal para expedir la modificación de esta norma. (Revisión Julio, 2015)
NOM-046-SEMARNAT-1993	Niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de bióxido de azufre, neblinas de trióxido de azufre y ácido sulfúrico, provenientes de procesos de producción de ácido dobecilbensulfónico de fuentes fijas.
NOM-085-SEMARNAT-2011	Contaminación atmosférica-niveles máximos permisibles de emisión de los equipos de combustión de calentamiento indirecto y su medición.
NOM-86-SEMARNAT-SENER-SCFI 2005	Especificaciones de los combustibles fósiles para la protección ambiental. Modificaciones 03-10-2006 y 28-11-2007 Norma en proceso de modificación, para revisar las especificaciones que deben cumplir los combustibles fósiles producto de la refinación del petróleo como son las gasolinas, diésel, combustóleo, gasóleo y turbosina. Lo anterior con la finalidad de analizar la viabilidad de mejorar la calidad ambiental de dichos combustibles. (Revisión Julio, 2015)
NOM-097-SEMARNAT-1995	Límites máximos permisibles de emisión a la atmósfera de material particulado y óxidos de nitrógeno en los procesos de fabricación de vidrio en el país. (1a. aclaración DOF 01-julio-1996. y 2a. aclaración DOF 16-octubre-1996).
NOM-105-SEMARNAT-1996	Partículas sólidas totales y compuestos de azufre reducido total en plantas de fabricación de celulosa.
NOM-121-SEMARNAT-1997	Límites máximos permisibles de emisión a la atmósfera de compuestos orgánicos volátiles (COVs) provenientes de las operaciones de recubrimiento de carrocerías nuevas en planta de

	<p>automóviles, unidades de uso múltiple, de pasajeros y utilitarios; carga y camiones ligeros, así como el método para calcular sus emisiones.</p> <p>(Aclaración DOF 09-septiembre-1998).</p>
NOM-123-SEMARNAT-1998	Compuestos orgánicos volátiles (COVs) en pinturas. Establece el contenido máximo permisible de COVs en la fabricación de pinturas de secado al aire base disolvente para uso doméstico y los procedimientos para la determinación del contenido de los mismos en pinturas y recubrimientos.
NOM-137-SEMARNAT-2013	Contaminación atmosférica.- Complejos procesadores de gas.- Control de emisiones de compuestos de azufre
NOM-148-SEMARNAT-2006	Contaminación atmosférica- recuperación de azufre proveniente de los procesos de refinación de petróleo.
	Norma en proceso de modificación, para incorporar los avances tecnológicos, las mejores prácticas operativas desarrolladas a nivel mundial y el monitoreo continuo de emisiones en las plantas recuperadoras de azufre. Asimismo, establecer precisiones técnicas para facilitar su aplicación y la vigilancia de su cumplimiento, e incluir el procedimiento de evaluación de la conformidad específico. (Revisión Julio, 2015)
NOM-166-SEMARNAT-2014	Control de emisiones atmosféricas en la fundición secundaria de plomo.
NOM-079-SEMARNAT-1994	Establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de los vehículos automotores nuevos en planta y su método de medición.
NOM-080-SEMARNAT-1994	Establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido proveniente del escape de los vehículos automotores, motocicletas y triciclos motorizados en circulación y su método de medición.
NOM-081-SEMARNAT-1994	Establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de las fuentes fijas y su método de medición.
	(Acuerdo por el que se modifica el numeral 5.4 Los límites máximos permisibles del nivel sonoro en ponderación "A" emitidos por fuentes fijas, de la Norma Oficial Mexicana NOM-081-SEMARNAT-1994, DOF, 03-12-2013)
	Norma en proceso de modificación, para actualizar los límites máximos permisibles de emisión de ruido que genera el funcionamiento de las fuentes fijas y revisar su método de medición conforme a los estándares internacionales. De igual forma, es importante incluir un Procedimiento para la Evaluación de la Conformidad específico. (Revisión Julio, 2015)

Norma Oficial Mexicana	Niveles máximos permisibles de emisiones contaminantes
NOM-041-SEMARNAT-2015	Establece los límites máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina como combustible.
NOM-042-SEMARNAT-2003	<p>Hidrocarburos no quemados, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos evaporativos provenientes del escape de vehículos en planta a gasolina o gas.</p> <p>Norma en proceso de modificación, para actualizar con base en nuevas tecnologías, los límites máximos permisibles de emisión señalados en la Norma Oficial Mexicana, establecer los métodos de prueba y el Procedimiento para la Evaluación de la Conformidad con la norma. (Revisión Julio, 2015)</p>
NOM-044-SEMARNAT-2006	<p>Establece los límites máximos permisibles de emisión de hidrocarburos totales, hidrocarburos no metano, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, partículas y opacidad de humos provenientes del escape de motores nuevos que usan diesel como combustible.</p> <p>Norma en proceso de modificación, para actualizar con base en nuevas tecnologías, los límites máximos permisibles de emisión señalados en la Norma Oficial Mexicana, establecer los métodos de prueba y el Procedimiento para la Evaluación de la Conformidad con la norma. (Revisión Julio, 2015)</p>
NOM-045-SEMARNAT-2006	<p>Protección ambiental- vehículos en circulación que usan diesel como combustible. Límites máximos permisibles de opacidad, procedimiento de prueba y características técnicas del equipo de medición.</p> <p>Norma en proceso de modificación, para ajustar los límites máximos permisibles de opacidad de humo, incorporación de un método adicional de medición de las revoluciones por minuto y precisiones al procedimiento de prueba y al equipo de medición. (Revisión Julio, 2015)</p>
NOM-047-SEMARNAT-2014	Características del equipo y el procedimiento de medición para la verificación de los límites de emisión de contaminantes, provenientes de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural u otros combustibles alternos.
NOM-048-SEMARNAT-1993	Niveles máximos de emisión de hidrocarburos, monóxido de carbono y humos en motocicletas a gasolina o gasolina-aceite.
NOM-049-SEMARNAT-1993	Características de equipo y procedimiento de medición para la verificación de contaminantes en motocicletas a gasolina o gasolina-aceite en circulación.

<p>NOM-050-SEMARNAT-1993</p>	<p>Establece los niveles máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gas licuado de petróleo gas natural u otros combustibles alternos como combustible</p> <p>Norma en proceso de modificación, para actualizar los niveles máximos de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gas licuado de petróleo gas natural u otros combustibles alternos como combustible, que permitan la reducción de los niveles máximos permisibles, en virtud del avance en la tecnología y combustibles de estos vehículos. (Revisión Julio, 2015)</p>
<p>NOM-076-SEMARNAT-2012</p>	<p>Establece los niveles máximos permisibles de emisión de hidrocarburos no quemados, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno provenientes del escape, así como de hidrocarburos evaporativos provenientes del sistema de combustible, que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural y otros combustibles alternos y que se utilizarán para la propulsión de vehículos automotores con peso bruto vehicular mayor de 3,857 kilogramos nuevos en planta.</p>
<p>NOM-163-SEMARNAT-ENER-SCFI-2012</p>	<p>Emisiones de bióxido de carbono (CO₂) provenientes del escape y su equivalencia en términos de rendimiento de combustible, aplicable a vehículos automotores nuevos de peso bruto vehicular de hasta 3 857 kilogramos.</p>

Contaminación por ruido
Fuentes móviles

Normas Mexicanas Vigentes en materia Atmosférica

Las Normas Mexicanas (NMX)

Son lineamientos que elaboran los organismos nacionales de normalización, o la Secretaría de Economía en ausencia de ellos. La regulación normativa para su elaboración, está dispuesta por el artículo 54 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, donde se estipulan reglas, especificaciones, atributos métodos de prueba, directrices, características o prescripciones aplicables a un producto, proceso,

instalación, sistema, actividad, servicio , o método de producción u operación, así como aquellas relativas a terminología, simbología, embalaje, marcado o etiquetado.

NMX-AA-009-1993-SCFI	Establece el método para determinar el flujo de gases en un conducto por medio del tubo de Pitot.
NMX-AA-010-SCFI-2001	Establece el procedimiento para determinar por método isocinético la emisión y concentración de partículas totales contenidas en los gases que fluyen por un conducto.
NMX-AA-011-1993-SCFI	Establece el procedimiento para la evaluación de las emisiones de los gases provenientes del escape de los vehículos automotores nuevos en planta, que usan gasolina como combustible, con peso bruto vehicular hasta de 3,857 Kg. No se aplica a motocicletas, ni a vehículos con cilindrada menor de 820 cm ³
NMX-AA-023-1986	Establece los términos y definiciones generales utilizados en contaminación atmosférica, para complementar las normas y reglamentos correspondientes.
NMX-AA-035-1976	Establece el método para determinar por absorción las proporciones de bióxido de carbono, monóxido de carbono y oxígeno contenidos en los gases de combustión.
NMX-AA-054-1978	Establece el método gravimétrico para determinar la humedad contenida en los gases que fluyen por un conducto.
NMX-AA-055-1979	Establece el procedimiento para la determinación de la concentración y de la emisión de bióxido de azufre en gases que fluyen a través de un conducto.
NMX-AA-056-1980	Establece el procedimiento para la determinación de la emisión de bióxido de azufre, trióxido de azufre y neblinas de ácido sulfúrico en los gases que fluyen por un conducto. Es específica para los casos en que estén presentes estos tres componentes.
NMX-AA-069-1980	Establece un procedimiento para la determinación de la emisión de ácido sulfhídrico en los gases que fluyen por un conducto.
NMX-AA-070-1980	Establece el procedimiento para la determinación de cloro y/o cloruros en los gases que fluyen por un conducto. Es aplicable en toda fuente fija emisora de estos compuestos.
NMX-AA-085-1986	Establece dos procedimientos para la calibración de gasómetros húmedos, utilizados como estándares secundarios para la calibración de otros medidores de flujo gaseoso, empleados en el muestreo de contaminación atmosférica.
NMX-AA-086-1986	Establece un procedimiento para la calibración de rotámetros con ámbito de operación entre cero y 0.5 dm ³ /segundos (0 a 30 litros/minuto) por medio de un gasómetro húmedo debidamente calibrado.
NMX-AA-088-1986	Establece un procedimiento para la calibración de gasómetros secos por medio de una gasómetro húmedo previamente calibrado
NMX-AA-090-1986	Establece el método para determinar la emisión de neblina de ácido fosfórico en los gases que fluyen por un conducto.
NMX-AA-095-1986	Establece el procedimiento para la determinación de la concentración y la emisión de cianuros en gases que fluyen a través de un conducto.
NMX-AA-096-1986	Establece el procedimiento para el muestreo y los métodos de

	cuantificación de emisiones de benceno, tolueno, xileno y estireno, ya sea que contengan uno de ellos o la mezcla de varios.
NMX-AA-097-1986	Establece un procedimiento para la determinación de amoniaco en gases que fluyen por un conducto.
NMX-AA-098-1986	Establece un procedimiento para la determinación de las concentraciones de tricloretileno en gases que fluyen por un conducto.
NMX-AA-114-1991	Establece el método para determinar la densidad del humo en los gases de combustión que fluyen por un conducto.
NMX-AA- 014-1980	Cuerpos receptores- Muestreo
NMX-AA-118-SCFI-2001	Registro de emisiones y transferencia de contaminantes, lista de sustancias e informe.

Nota: con fecha 23 de abril de 2003 se publicó en el Diario Oficial de la Federación el Acuerdo por el cual se reforma la nomenclatura de las Normas Oficiales Mexicanas expedidas por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales identificadas con las siglas “ECOL” y “REC NAT” identificándose en lo sucesivo bajo las siglas “SEMARNAT”

Fuente: SEMARNAT, Dirección General de Estadística e Información Ambiental, Julio, 2015, con base en:

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, Dirección de investigación sobre la Calidad del Aire y los contaminantes climáticos de vida corta, 2015

Presidencia de la República, Diario Oficial de la Federación, México 08-07-2015, consultado en: <http://www.dof.gob.mx/>,

Presidencia de la República, Diario Oficial de la Federación, Programa Nacional de Normalización 2015, México 08-07-2015, consultado en: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5390097&fecha=24/04/2015,

Presidencia de la República, Diario Oficial de la Federación, Programa Nacional de Normalización 2015, México 08-07-2015, consultado en: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5390097&fecha=24/04/2015,

Secretaría de economía, Catálogo Mexicano de Normas, consultado en: <http://www.economia.gob.mx/comunidad-negocios/competitividad-normatividad/normalizacion/catalogo-mexicano-de-normas>, 08-07-2015

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Marco Jurídico del Sector Medio Ambiente, consultado en: <http://www.semarnat.gob.mx/leyes-y-normas>, 08-07-2015

9. CONCLUSIONES

Mediante el presente trabajo se pudo determinar que las aplicaciones críticas que afectan más el medio ambiente y el medio laboral son aquellas en las que se pierde el control en la recuperación del solvente, como son aquellas en las que actúa el solvente como vehículo tales como pinturas y recubrimientos.

También se pudo plantear que un adecuado manejo en la recuperación del solvente tendrá un efecto positivo reduciendo su participación en la formación de VOC y así disminuir su afectación en el medio ambiente y al mismo tiempo bajara el tiempo de exposición del solvente en su manejo directo con el ser humano.

Se pudo hacer un recuento en el presente trabajo de los programas reguladores y controles que se tienen actualmente en la industria. Así mismo se dan sugerencias de los parámetros que se sugiere cuidar al momento de escoger un sistema de solventes.

Se ve claramente la tendencia que se tiene en los mercados actualmente y se concluye que no existe una solución única ni sencilla, si no que se requiere un esfuerzo conjunto y orquestado para tener los resultados requeridos.

10. BIBLIOGRAFIA

Dieter Stoye, Werner Freitag Paints, Coatings and Solvents Second, Completely Revised Edition, p.2

www.dnapl.group.shef.ac.uk; Marzo (2016)

www.chemlink.com.au; Marzo (2016)

www.webelements.com; Marzo (2016)

Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Fifth Edition, Volume A24: Silicon Compounds, Inorganic to Stains, Microscopic. Editors: Barbara Elvers, Stephen Hawkins, William Russey, Gail Schulz, (1993).

Brönsted Acid-Base behavior in Inert Organic Solvents. M.M. Davies, in J.J.Lagowski, The Chemistry of Nonaqueous Solvents Systems. Academic Press, New York, London (1970), vol III, p.1.

Acid-Base Equilibria in Dipolar Aprotic Solvents. I.M.Kolthoff. Anal. Chem. 46. 1962 (1974), in Solvent effect in organic Chemistry. Christian. Reicfortest. Weinheim, New York: Verlag Chemie, (1978).

Acidity Functions. R. H. Boyd, in J.F. Coetzee and C.D. Ritchie (editors), Soluto-Solvent Interactions. Vol. 1 M. Dekker, New York, London (1969).

Acid-Base Behaviour. E.J. King, in A.K. Covington and T. Dickinson (editors), Physical Chemistry of Organic Solvent System. Plenum Press, London, New York (1973).

Solvent Effect in Organic chemistry. Christian Reicfortest Weinheim, New York: Verlag Chemie, (1978).

R.G. Pearsons, J. Americ. Chem. Soc. 85, 3233 (1963); Science 151, 172 (1966); J. Chem. Educ. 45, 581, 643 (1968); J. Org Chem. 32, 2899 (1967). e [R.G. Pearson (editors): Fortes and Fracos Acids and Bases.

Dowden, Hutchinson, and Ross, Stroudsburg/Pa. (1973), in Solvent effects in organic chemistry. Christian, Reicfortest. Weinheim, New York: Verlag: Verlag Chemie, (1978).

A Modern Approach to Solvent Selection. Rafiqul Gani, Concepcion Jimenez-Gonzalez. Anton ten Kate, Meter A. Crafts, John H. Atherton, Joan L. Cordiner. Chemical Engineering, Vol. III, p354, March, (2006).

Mass-transfer Operations Autor: Treybal, Robert E. Editora: MacGraw-Hill International Editions – Chemical Engineering series, (1980).

Grayson, M. Eds; Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. 3rd ed., John Wiley and Sons, New York, (1983).

Wolfgang, G. Eds; Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry 4th ed., Wiley-VCH. Weinheim, (1995).

March, J.; Smith, M. Advanced Organic Chemistry: reactions, mechanism and structure, 5th ed., John Wiley and Sons, New York, (2001).

Carey, F.; Sundberg, R.J. Advanced Organic Chemistry, 4th ed., Kluwer Academic/ Plenum Publishers, New York, (2000).

Morrison, R.T.; Boyd, R.N. Quimica Organica, 5th ed., Fundacao Calouste Gulbenkian, Lisboa, (1996).

Solomons, T.W.G. Fundamentals of Organic Chemistry, 6th ed., John Wiley and Sons, New York, (1996).

Weast, R.C. Eds.; CRC Handbook of Chemistry and Physics, 61th ed., CRC Press, Boca Raton, (1980).

Westley, L. Archer. Industrial Solvents Handbook. New York: software Included, 315 p. (1996).

George, Kakabadse. Solventes Industriais: Propiedades e aplicacoes. Sao Paulo: Toledo, 145 p. (1984).

Fazenda, J.M.R.coordador. Tintas e Vernizes. Sao Paulo: Edgard Blucher, 1043 p. (2005).

Paul, S. Surface Coating: Science & Technology. 2nd ed., New York: John Willey & Sons, (1997).

Payne, H.F. Organic Coating Technology: Oil, Resins, Varnishes and Polymers. 1st ed., New York: John Willey & Sons. Vol. 1.

Kakabadse, G. Solvent problems in industry. New York: Elsevier applied science publisher, (1984).

Mellan, I. Industrial Solvents Handbook. 2nd ed., New Jersey: Noyes Data Corporation, (1977).

Durkee, J. B. How About Solvent Cleaning? Products Finishing, 58-65, (1994).

Formulating Fundamentals for Coating and Cleaners, American Solvents Council, (2005).

Jones, M. Concepcion, J. G. Powell, L. A modern approach to solvent selection: although chemist and engineers intuition is still important, powerful tools are becoming available to reduce the effort needed to select the right solvent. Vol III, p185, 253, 301. Chemical Engineering, (2006).

Gani, R. Harper, P.M., Hostrup, M. Solvent Based Separation: Solvent Selection. Disponible en www.cape.kt.dtu.dk/documents.courses/master/notes-lecture4.pdf

Air Quality: Revision to definition of volatile organic compounds – exclusion of acetone; junio (1995). Disponible en: www.epa.gov/EPA-AIR/1995/june/day-16/pr-752.html

Anastas, P.T.; Warner, J.C.; Green chemistry: theory and practice, New York: Oxford University Press, (2000).

Archer, W.L.; Industrial solvents handbook, New York: Marcel Dekker, (1996).

Capello, C; Fischer, U; Hungerbuhler, K; What is a green solvent? A comprehensive framework for the environmental assessment of solvents, Green Chemistry, (2007), 9, 927-934.

Clark, J. H.; Green Chemistry: Challenges and opportunities, Green Chemistry, (1999), 1,2.

Clark, J. H.; Green Chemistry: today (and tomorrow), Green Chemistry, (2006), 8, 17-21

Curzons, A.D.; Constable, D.C.; Cunningham, V.L.; Solvent selection guide: a guide to the integration of environmental, health and safety criteria into the selection of solvents. Clean Products and processes Vol 1. (1999), 82-90.

Hofer, R.; Bigorra, J; Green chemistry – a sustainable solution for industrial specialties applications, Green Chemistry, (2007), 9, 203-212.

Linak, E; Global solvent report: the green impact, Specialty chemicals – Sri Consulting, (2006).

Nelson, W. M.; Green solvents for chemistry: perspectives and practice, New York: Oxford University Press, (2003).

Pianofort, K; Low and Zero VOC coating, mayo (2007). Disponible en: www.coatingsworld.com

Sherldon, R. A.; Green solvents for sustainable organic synthesis: state of the art, Green Chemistry, (2005), 7, 267-278.

Shermann, J; Chin, B; Huibers, P.D.T.; Garcias-Valls, Richard; Hatton, T.A.; Solvent replacement for Green Processing; EHP, (1997).

Stratospheric Ozone Depletion: a focus on EPA'S research, Washington, EPA, marco (1995).

Tess, R.W.; Solvents Theory and Practice, Washington: American Chemical Society, (1971).

American Conference of Governmental and Industrial Hygienists (ACGIH)-Limites de expansion Ocupacional (TLVs) para Sustancias Quimicas y Agentes Fisicos & Indice Biologicos de Exposicion (BEIs). Agency for toxic substances and disease registry. (ATSDR). Public Health assessment guidance manual. Boca Raton: Publishers, (1992).

Cartr, W. Updated maximum incremental reactivity scale for regulatory application. (1998).

Cikui L., David G. Prediction of physical and chemical properties by quantitative structure-property relationships. American Laboratory (1997).

Comstock, B.S. A review of psychological measures relevant to central nervous system toxicity, with specific reference to solvent inhalation. Clin. Toxicol. 11:317-24,(1977).

Haguenoer, J.M. & Furon, D. Toxicologie et hydiene industrielles. Paris, Technique et Documentation.v.10, p.91-198. (1983).

Malhausen, J.R., Damiano, J. -Strategy for Assessing and Managing Occupational Exposures; Second Edition, AIHA Press.

M. MacLeod, D. Mackay. Modeling transport and deposition of contaminants to ecosystems of concern: a case study for the Laurentian Great Lakes. (2003).

Niosh Publication No. 87-104. Current Intelligence Bulletin 48/Organic Solvent Neurotoxicity, march 31, (1987).

Organizacion de las Naciones Unidas (ONU). Convencion de Viena para la Proteccion de la Capa de Ozono. (1985).

Organizacion de las Naciones Unidas (ONU). Protocolo de Montreal sobre sustancias que destruyen la capa de Ozono. (1989).

Zagatto P.A., Bertolotti E. Ecotoxicologia aquatic - principios y aplicaciones - 1era edicion (2006).

Petrus R. Fiches de donnees de secrete pour les produits chimiques dangereux. Manuscrit definit – Rhone

Poulenc Chemie. (1995).

Rivaldo S. Toxicologia Industrial, Saude e Trabalho on line.

Verschueren K. Handbook of Environmental Data on Organic Chemicals, 4th edic., (2001).

Reboucas Z.. Avaliacao da Exposicao de Agentes Quimicos e Fisicos. ABIQUIM, Agosto 9, (2004).

www.semarnat.gob.mx/marconormativovigentecontaminantes ; Marzo (2016)