

# QUÍMICA ANALÍTICA VERDE



**Disertantes:**

**Dra. Laura N. Rigacci,  
Dra. M. Emilia Villanueva  
Mg. Andrés F. Pighín**

Docentes del Área  
Química Analítica,  
Dpto. de Ciencias  
Básicas. UNLu

4/ septiembre/ 2020



¿Qué es eso de la  
Química Analítica  
Verde?



# DEFINICIONES

## QUÍMICA ANALÍTICA



DISCIPLINA METROLÓGICA DIRIGIDA AL DESARROLLO, OPTIMIZACIÓN Y APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE AMPLIA NATURALEZA QUE SE CONCRETAN EN DE LOS PROCESOS DE MEDICIÓN DESTINADOS A OBTENER INFORMACIÓN QUÍMICA O BIOQUÍMICA DE CALIDAD DE LA MATERIA O SISTEMAS DE NATURALEZA VARIADA (MUESTRAS) CON MIRADA A SATISFACER LOS REQUISITOS DE INFORMACIÓN Y FACILITAR LA TOMA DE DECISIONES OPORTUNAS Y BIEN FUNDADAS EN ÁMBITOS CIENTÍFICOS, TÉCNICOS, ECONÓMICOS Y SOCIALES.

WORKING PARTY ON ANALYTICAL CHEMISTRY (WPAC). EDIMBURGO, 1993



# DEFINICIONES

## QUÍMICA VERDE



LA QUÍMICA ECOLÓGICA, BUSCA QUE LA QUÍMICA RESULTE MÁS AMIGABLE CON LA SALUD Y EL MEDIO AMBIENTE.

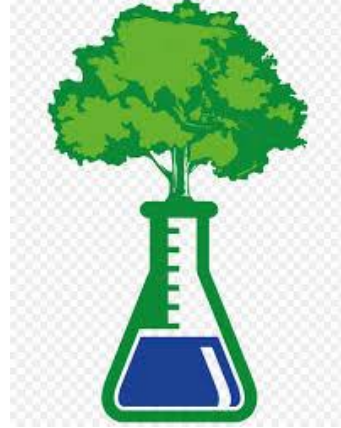
QUÍMICA VERDE O QUÍMICA SUSTENTABLE BUSCA CREAR CONCIENCIA EN LOS QUÍMICOS PARA QUE EN LOS PROCESOS QUÍMICOS EXPERIMENTALES SE ELIMINEN O SE REDUZCAN LOS RIESGOS PARA LA SALUD Y DE CONTAMINACIÓN O USO INDEBIDO DEL MEDIO AMBIENTE.

SE APLICA EN TODOS LOS ÁMBITOS DONDE PARTICIPAN PRODUCTOS QUÍMICOS, DESDE DISEÑO, ELABORACIÓN, UTILIZACIÓN Y ELIMINACIÓN.



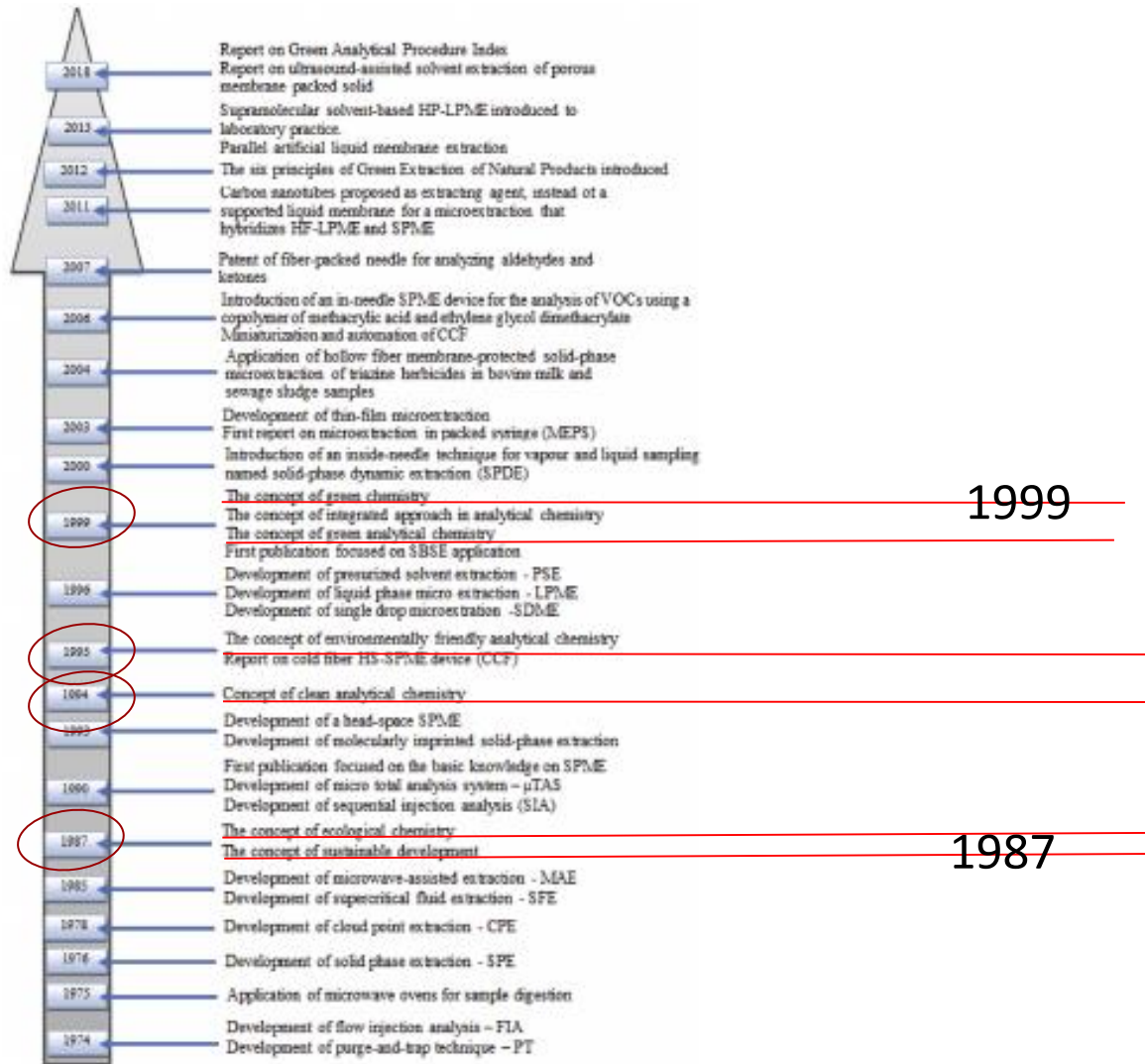
# DEFINICIONES

## QUÍMICA ANALÍTICA VERDE

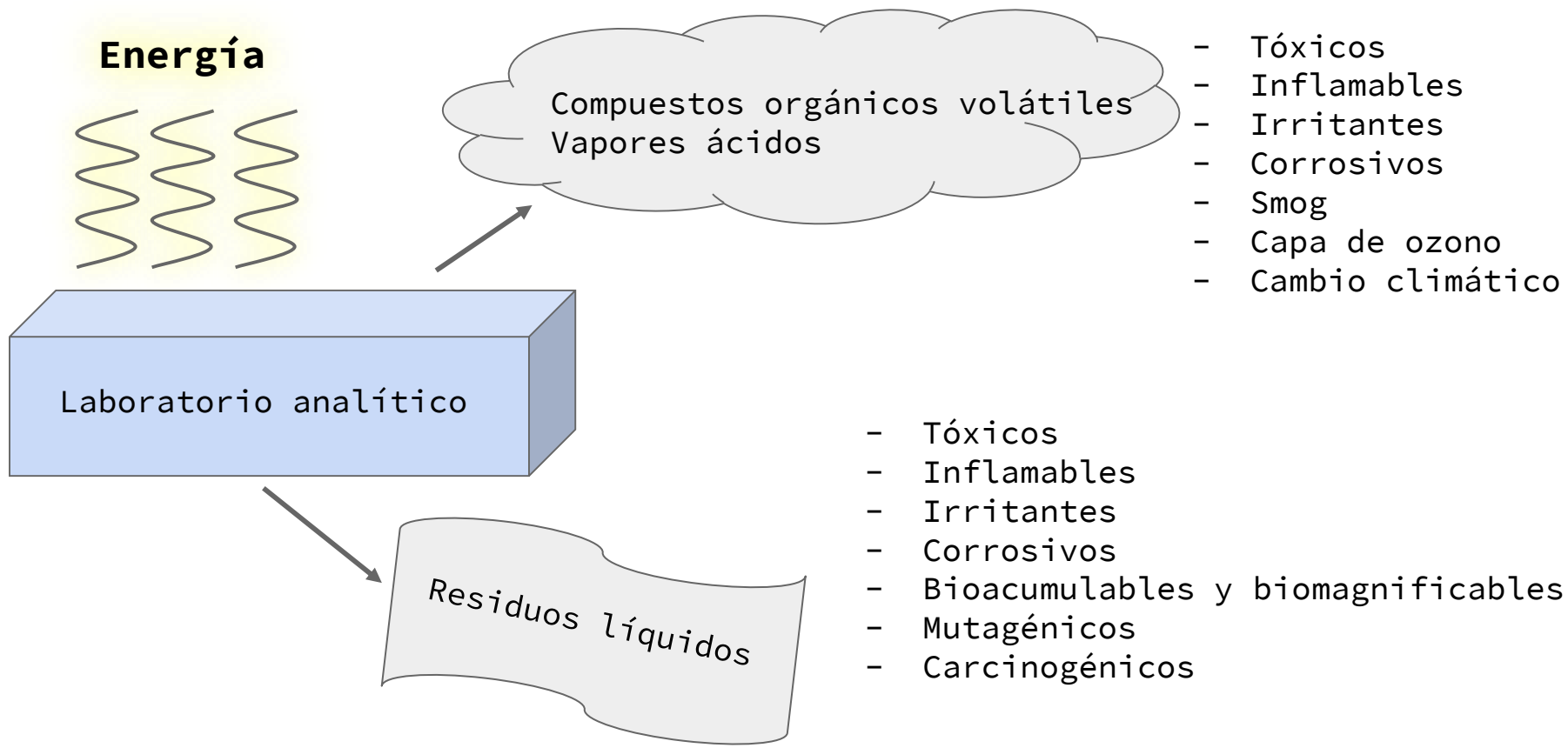


DISCIPLINA METROLÓGICA QUE DESARROLLA, OPTIMIZA Y APLICA METODOLOGÍAS Y PROCEDIMIENTOS DE MEDIDA DESTINADOS A OBTENER INFORMACIÓN QUÍMICA DE CALIDAD DE LA MATERIA O DE SISTEMAS DE NATURALEZA VARIADA PROCURANDO QUE DURANTE LA PLANIFICACIÓN Y EJECUCIÓN EXPERIMENTAL SE ELIMINEN O SE REDUZCAN LOS RIESGOS PARA LA SALUD Y DE CONTAMINACIÓN O USO INDEBIDO DEL MEDIO AMBIENTE.

# HITOS DE LA QUÍMICA ANALÍTICA VERDE



# ¿POR QUÉ SURGE LA QUÍMICA ANALÍTICA VERDE?



# DESARROLLO SOSTENIBLE

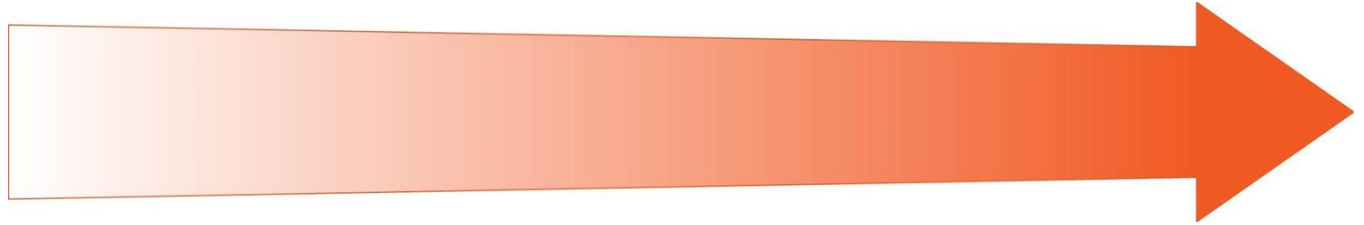
## DE UN LABORATORIO DE QUÍMICA ANALÍTICA

Pasado

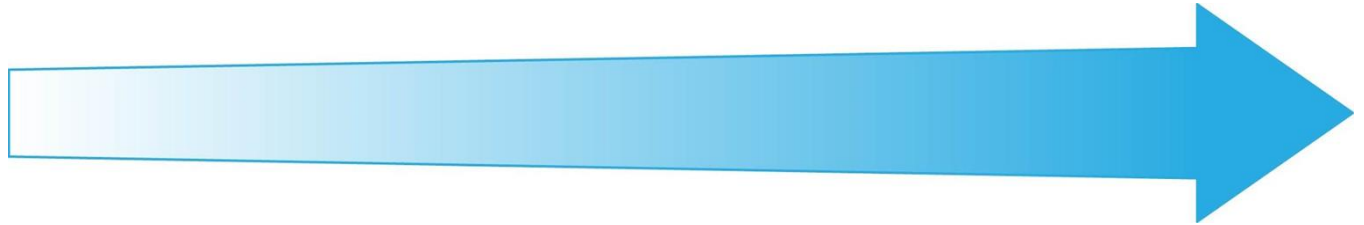
Presente

Futuro

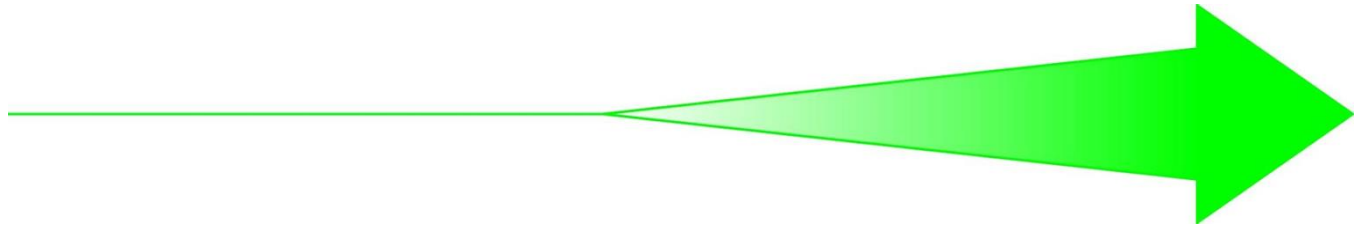
*Costos*



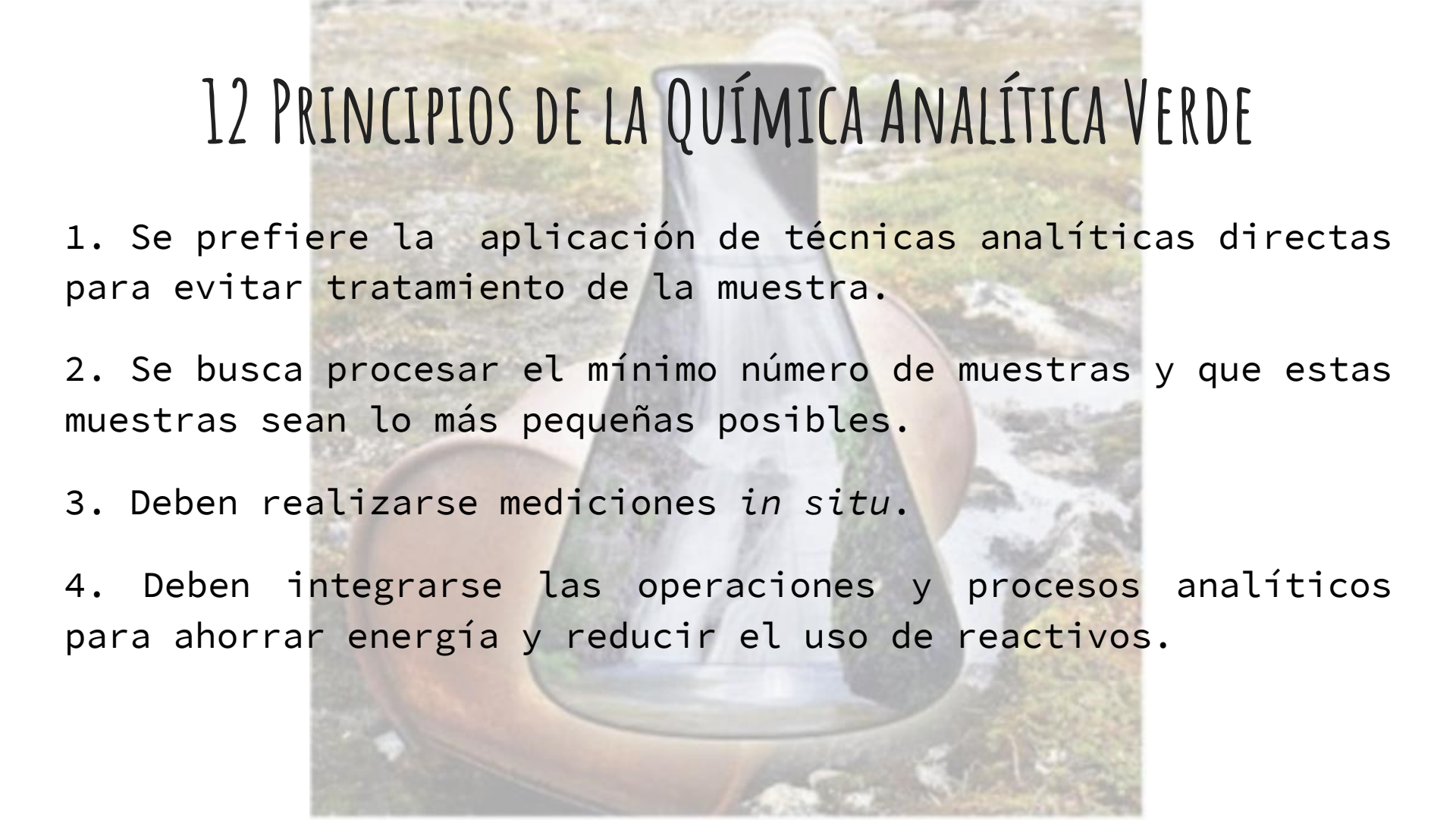
*Calidad analítica*



*Química verde*

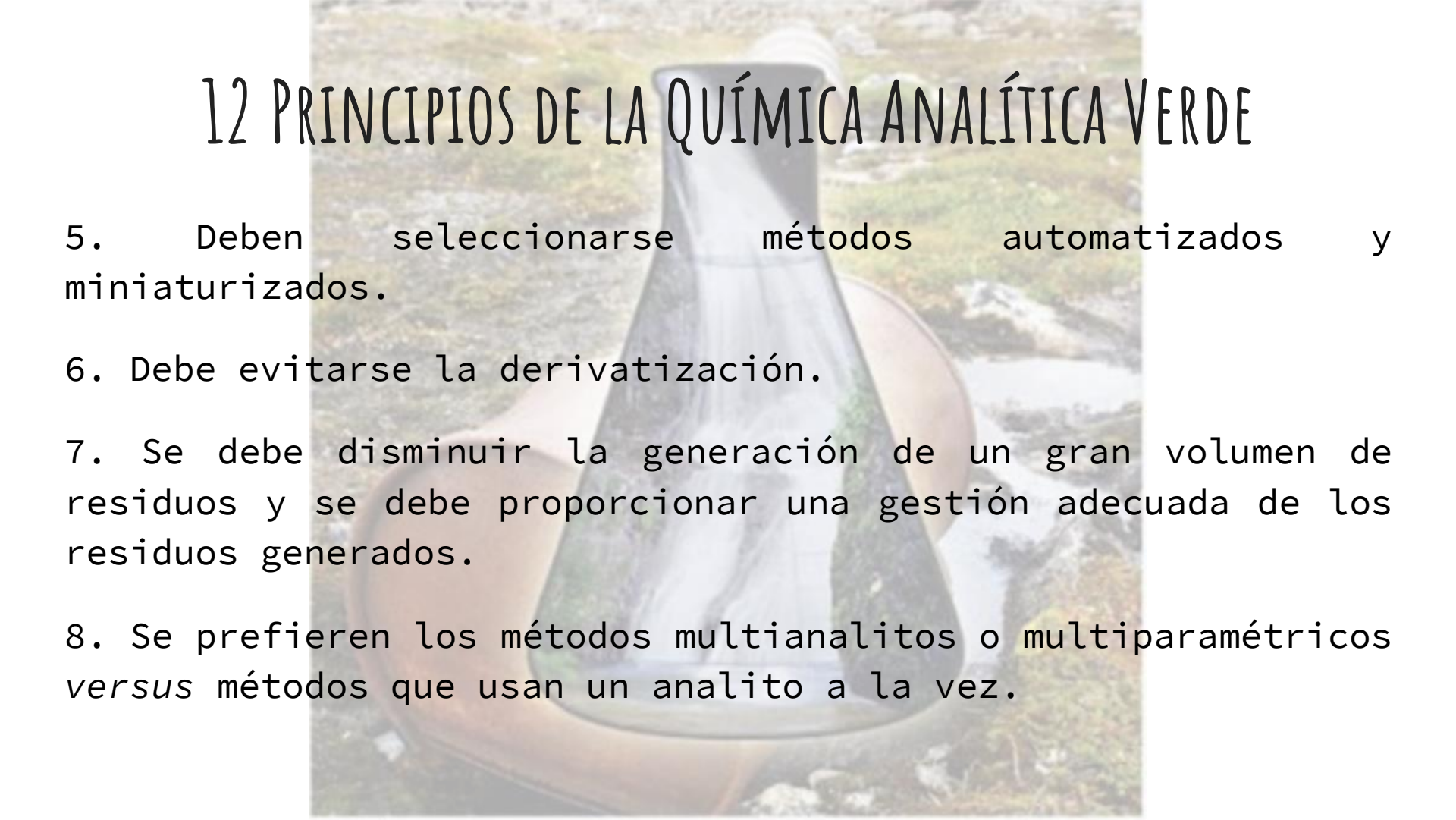


# 12 PRINCIPIOS DE LA QUÍMICA ANALÍTICA VERDE

A background image showing a laboratory flask on a stand with a natural landscape in the background. The flask is in the foreground, and the landscape is visible through the glass. The text is overlaid on this image.

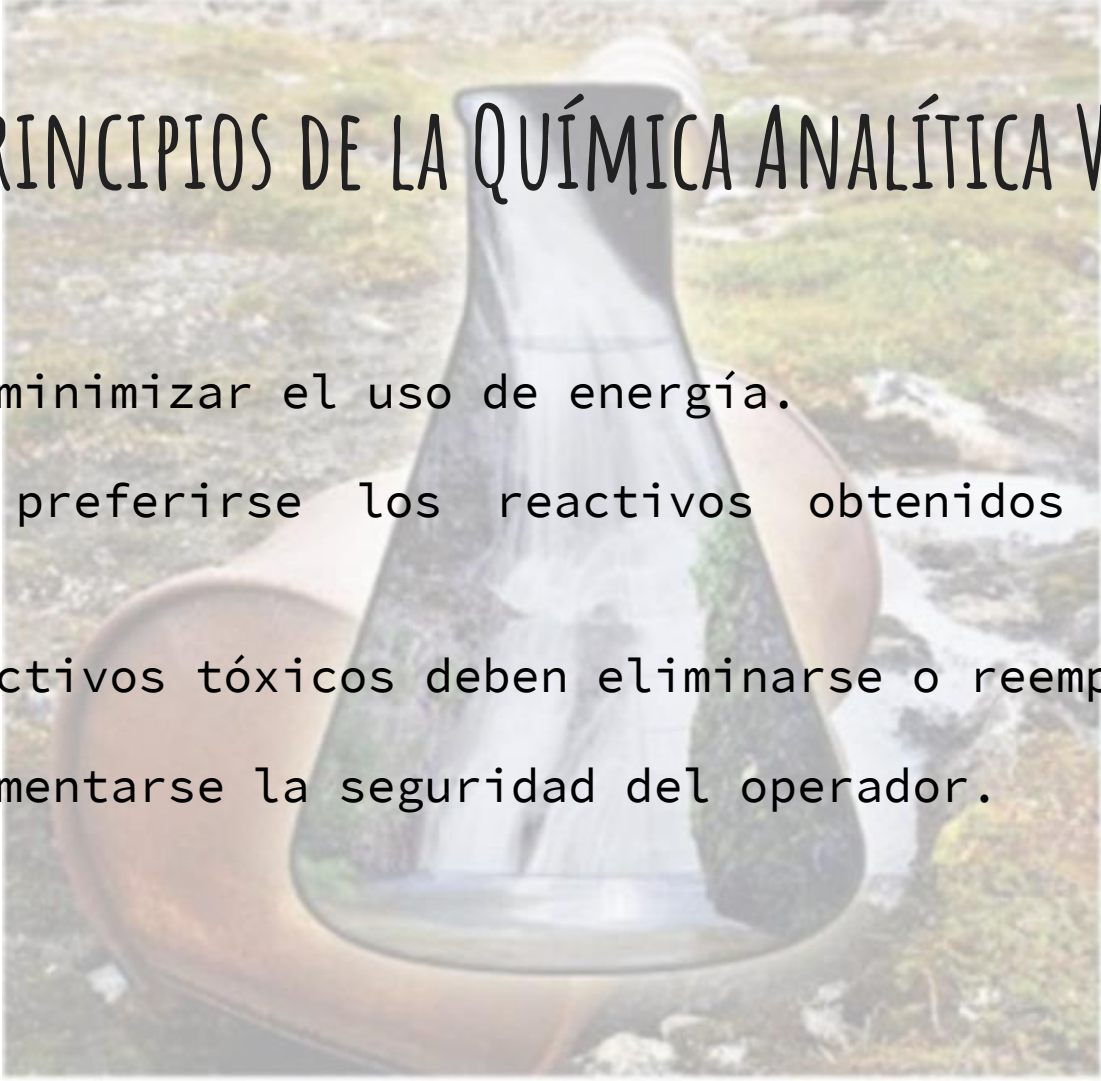
1. Se prefiere la aplicación de técnicas analíticas directas para evitar tratamiento de la muestra.
2. Se busca procesar el mínimo número de muestras y que estas muestras sean lo más pequeñas posibles.
3. Deben realizarse mediciones *in situ*.
4. Deben integrarse las operaciones y procesos analíticos para ahorrar energía y reducir el uso de reactivos.

# 12 PRINCIPIOS DE LA QUÍMICA ANALÍTICA VERDE



5. Deben seleccionarse métodos automatizados y miniaturizados.
6. Debe evitarse la derivatización.
7. Se debe disminuir la generación de un gran volumen de residuos y se debe proporcionar una gestión adecuada de los residuos generados.
8. Se prefieren los métodos multianalitos o multiparamétricos *versus* métodos que usan un analito a la vez.

# 12 PRINCIPIOS DE LA QUÍMICA ANALÍTICA VERDE

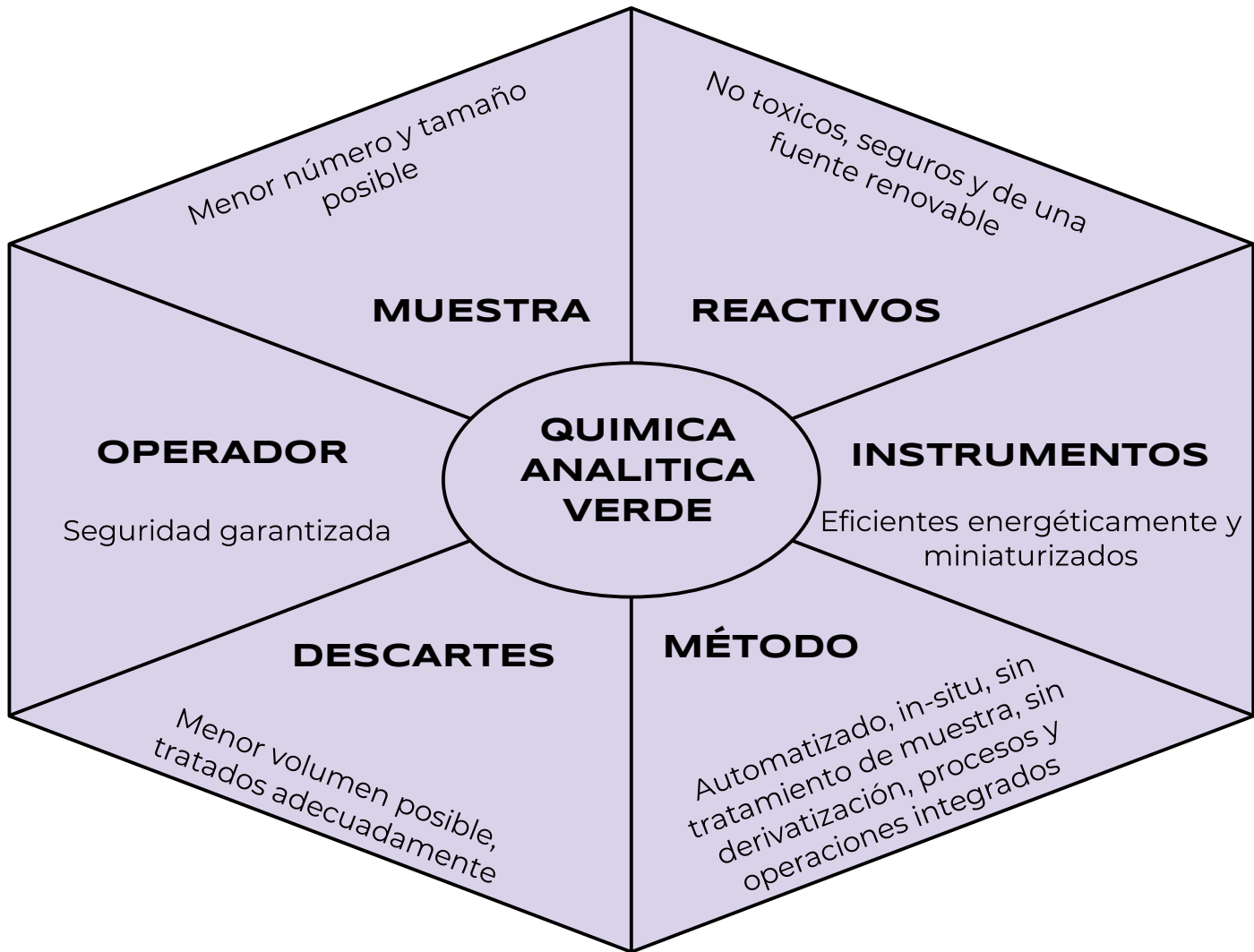


9. Se debe minimizar el uso de energía.

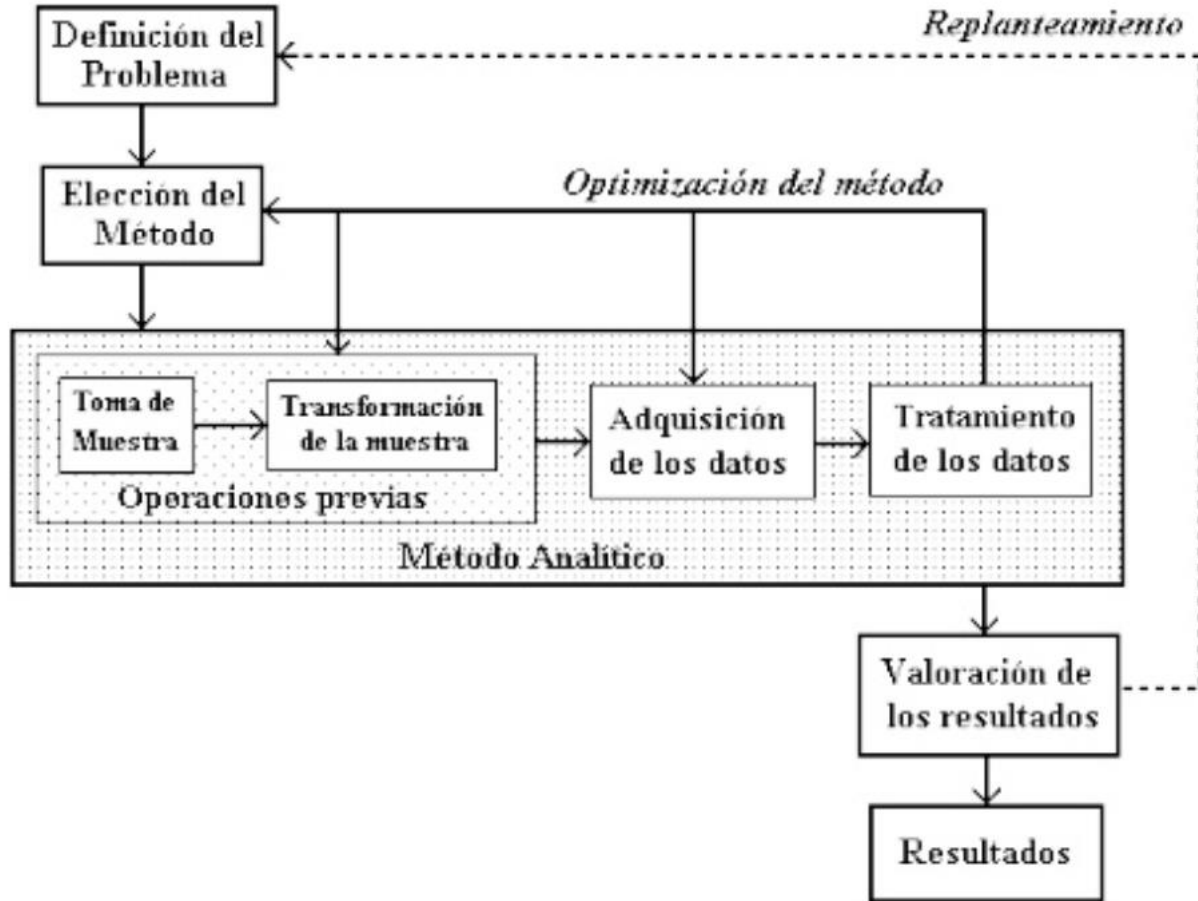
10. Deben preferirse los reactivos obtenidos de fuentes renovables.

11. Los reactivos tóxicos deben eliminarse o reemplazarse.

12. Debe aumentarse la seguridad del operador.



# ETAPAS DEL PROCESO ANALÍTICO



# MUESTREO

Anualmente se recolectan **miles de millones** de muestras

Reactivos de preservación y estabilización, como ácidos, disolventes y *buffers*.

Filtros, recipientes.

Condiciones de refrigeración / criogénicas.

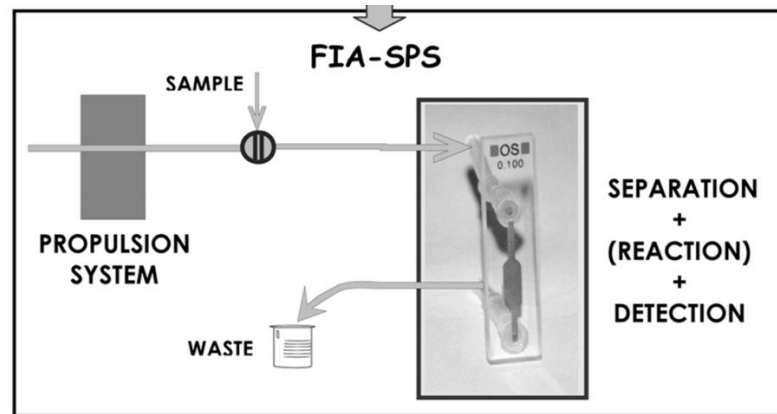


# CLASIFICACIÓN DEL MUESTREO

*in-line*



*on-line*

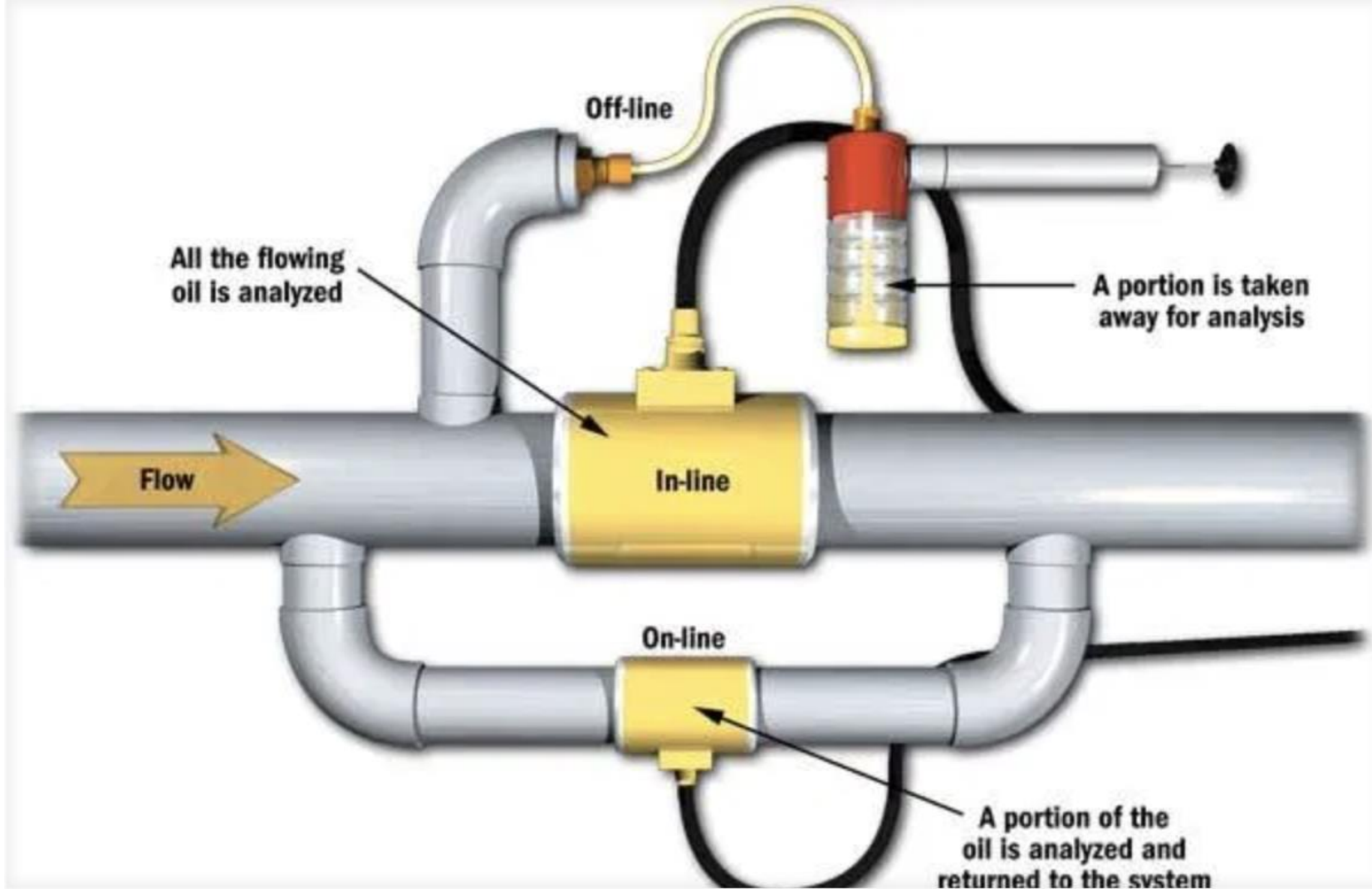


*at-line*



*off-line*





All the flowing oil is analyzed

Off-line

A portion is taken away for analysis

Flow

In-line

On-line

A portion of the oil is analyzed and returned to the system

# TRATAMIENTO DE MUESTRAS

Es uno de los pasos más contaminantes y donde más energía se consume en el proceso analítico → Mediciones en campo ✓

Insume mucho tiempo, es laborioso y riesgoso

Se suelen utilizar ácidos fuertes o solventes orgánicos (tóxicos, volátiles, caros)

Uso de energía → digestiones y/o extracciones largas a elevada temperatura

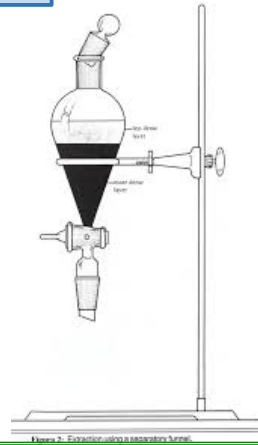
¿Para qué se realiza? Para simplificar la matriz, para concentrar el analito y para llevarlo a la forma química adecuada para su determinación

# TRATAMIENTO DE MUESTRAS

# EXTRACCIÓN

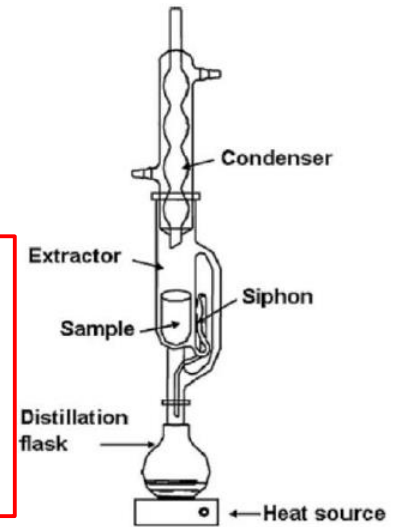
LÍQUIDO - LÍQUIDO

- ✓ Grandes cantidades de solvente
- ✓ Solvente inmisible en agua



SOXHLET; SÓLIDO- LÍQUIDO

- ✓ Largos tiempos de extracción
- ✓ Grandes cantidades de solvente
- ✓ A veces requiere eliminación del solvente por evaporación



- ✓ Estrategias de extracción en una sola gota, microextracción dispersiva líquido-líquido, microextracción de fibra líquida por fase hueca
- ✓ Extracción mediada por membrana
- ✓ Extracción en Fase sólida
- ✓ Microextracción en Fase sólida

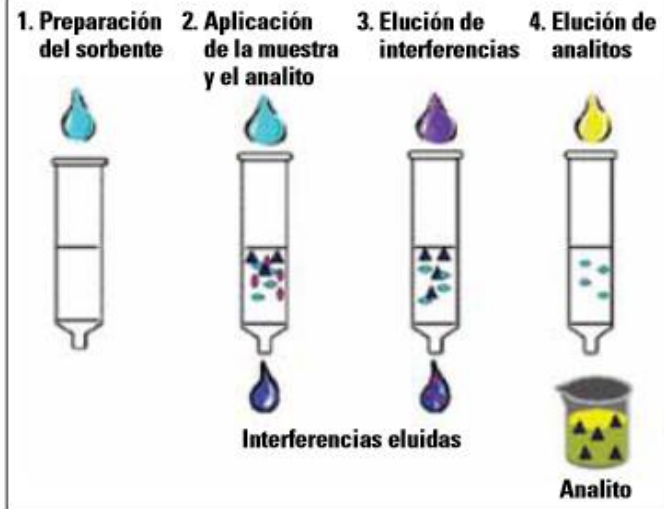
- ✓ Extracción de líquido a presión, también llamada extracción acelerada de solvente
- ✓ Extracción asistida por microondas
- ✓ Extracción asistida por ultrasonido

Reemplazo de los **solventes hidrofóbicos** tradicionales por:

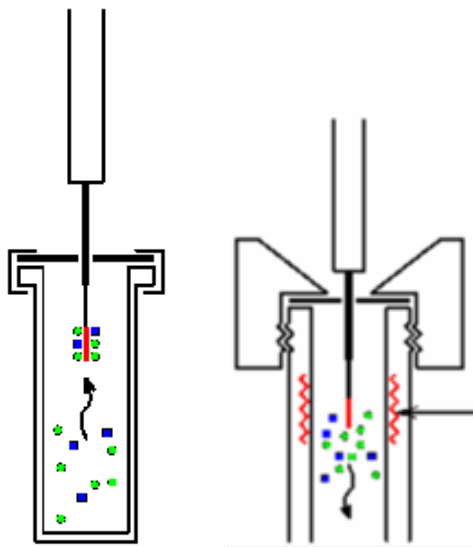
- ✓ líquidos iónicos
- ✓ agro solventes, como alcoholes o terpenos
- ✓ soluciones tensioactivas
- ✓ Extracción con fluidos supercríticos
- ✓ Extracción con agua subcrítica

# TRATAMIENTO DE MUESTRAS

## EXTRACCIÓN EN FASE SÓLIDA



## MICROEXTRACCIÓN EN FASE SÓLIDA (en espacio de cabeza)

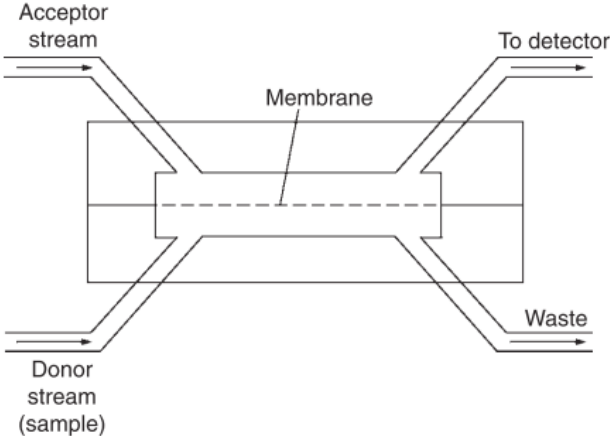


- ✓ Menos volumen de muestra
- ✓ Menos volumen de solvente
- ✓ Más rápidos
- ✓ Muy confiables

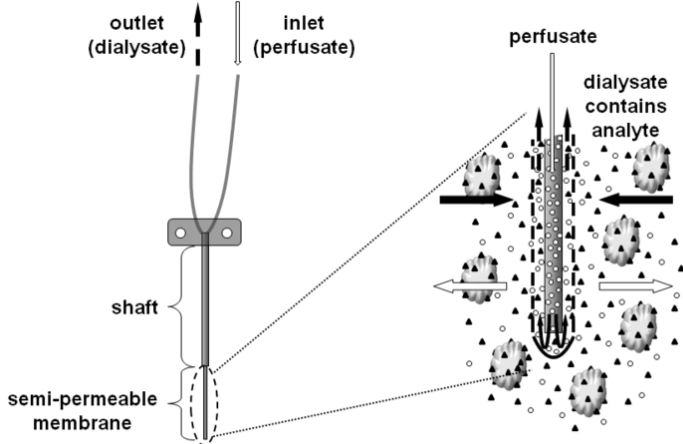
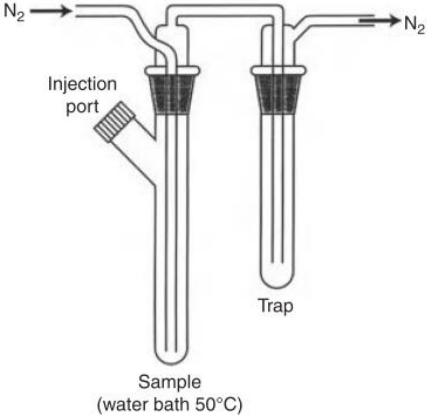
- ✓ Costo
- ✓ Vida útil limitada
- ✓ No son universales

# TRATAMIENTO DE MUESTRAS

## PERVAPORACIÓN

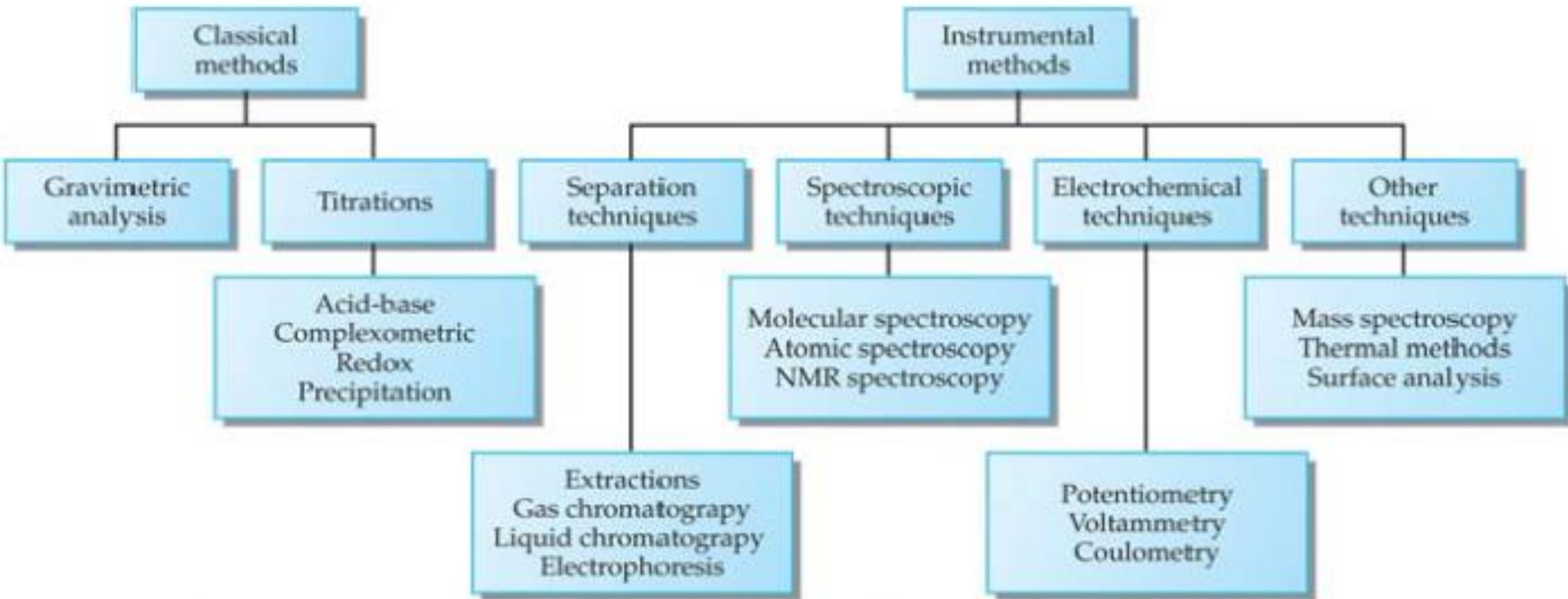


## MICRODESTILACIÓN



Digestión húmeda y concentración asistida por microondas

# METODOLOGÍAS ANALÍTICAS



## MÉTODOS CLÁSICOS: TITULACIONES

ÁCIDO - BASE  
COMPLEJOMÉTRICA  
PRECIPITACIÓN  
REDOX



- ✓ Grandes volúmenes de muestras y reactivos
- ✓ Toxicidad de reactivos;  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{CrO}_4^{2-}$ , Indicadores (NET, Murexida), reactivos auxiliares (ácidos bastante concentrados)
- ✓ Grandes volúmenes de desechos

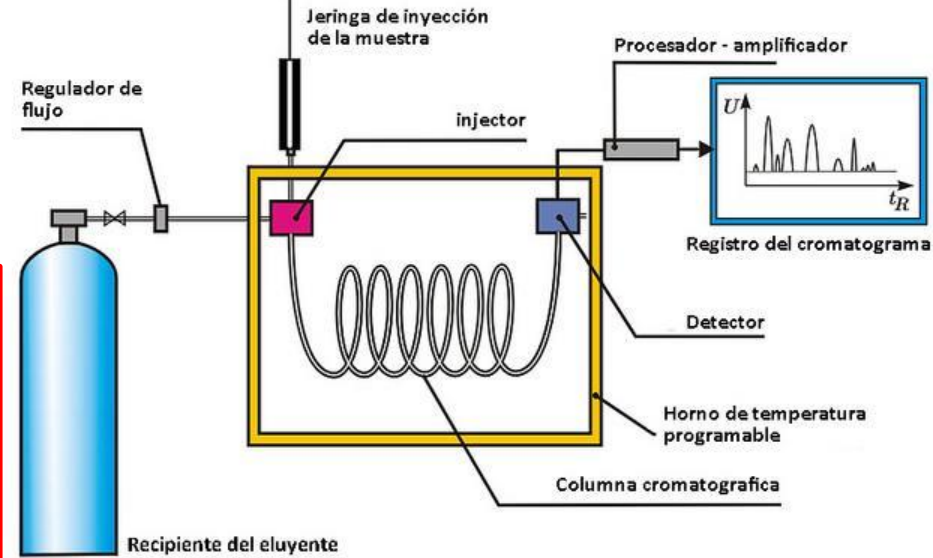
- ✓ Posibilidad de miniaturizar y automatizar
- ✓ Reemplazo de indicadores visuales por detección mediante electrodos

# TÉCNICAS DE SEPARACIÓN

## CROMATOGRAFÍA GASEOSA

- ✓ Usa solventes no acuosos
- ✓ Gran consumo de energía (Temperatura del horno, inyector y detector)
- ✓ Los gases que salen del detector son venteados a la atmósfera
- ✓ La preparación de muestras requiere uso de solventes orgánicos y muchas veces apolares (hidrocarburos fósiles)
- ✓ Detector de captura de electrones (usa fuente emisora de partículas  $\beta$  como Ni-63)

- ✓ Pequeños volúmenes de muestras
- ✓ Las metodologías de preparación de muestras se adaptan o se cambian a métodos verdes



- ✓ Elegir columnas capilares, sobre columnas empacada
- ✓ Reducir los tr. evitar de FE de muy baja polaridad.
- ✓ Evitar la elusión por gradiente de temperatura

- ✓ Metodologías de introducción de muestras sin uso de solventes orgánicos:  
Head Space, Desorción térmica, Purga y

trampa

# TÉCNICAS DE SEPARACIÓN

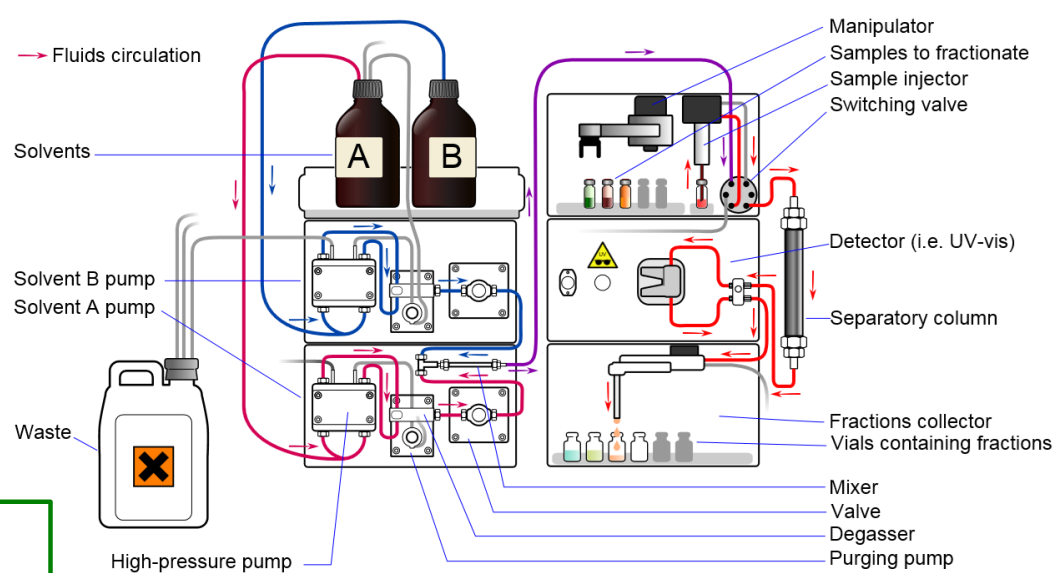
## CROMATOGRAFÍA LÍQUIDA

- ✓ Uso de solventes orgánicos
- ✓ Gran volumen de desechos orgánicos

- ✓ Elegir técnicas en Fase reversa
- ✓ Reducir la no polaridad de las fases estacionarias
- ✓ Reducir la longitud de la columna
- ✓ Elusión isocrática sobre gradiente de solvente

### Solventes verdes:

- ✓ Solventes hidrofílicos
- ✓ Líquidos iónicos
- ✓ Cromatografía de fluidos supercríticos



### Instrumentos verdes

- ✓ Cromatografía líquida de Microcalibre
- ✓ Cromatografía líquida capilar
- ✓ Nano cromatografía líquida
- ✓ UPLC

LC type	Column inner diameter	Pump flow rate
traditional LC	<10 mm; >1 mm	>1 ml min <sup>-1</sup>
microbore LC	1 mm ~ 500µm	100 ~ 500µl min <sup>-1</sup>
capillary LC	100 ~ 500µm	1 ~ 25µl min <sup>-1</sup>
nano LC	<100µm	<1 µl min <sup>-1</sup>

# MÉTODOS SEPARATIVOS

## ELECTROFORESIS

## ELECTROFORESIS CAPILAR

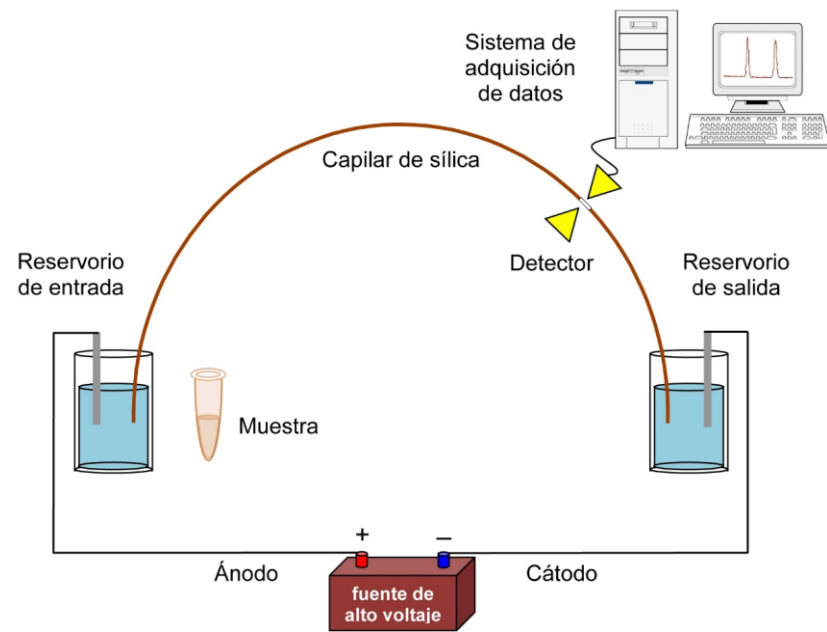
No logró el desarrollo esperado debido a:

- ✓ es menos reproducible comparado con HPLC y
- ✓ en matrices complejas los analitos tienen velocidades de migración variables y eso dificulta su identificación

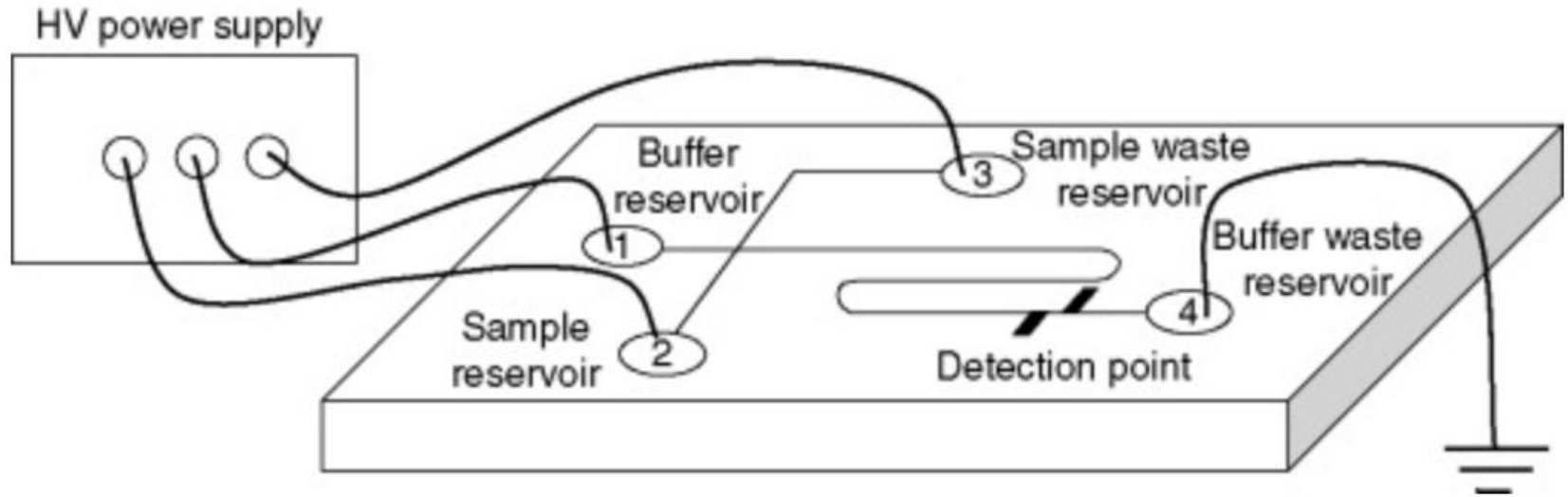
Es una de varias técnicas que cumplen con la definición de método analítico ecológico.



- ✓ Requiere muy poco disolvente ( $\mu\text{L}$ )
- ✓ Los solventes más comunes son soluciones buffer fosfatos o boratos
- ✓ Consume poca energía. No requiere partes mecánicas móviles como bombas presurizadoras o válvulas rotativas que consumen energía. La alimentación se da mediante una fuente de poder de alto voltaje
- ✓ Los efluentes son pocos (aprox  $100 \mu\text{L}$  / muestra) y de escasa toxicidad (soluciones salinas)
- ✓ Se puede miniaturizar y hacer portátil



# LAB ON A CHIP

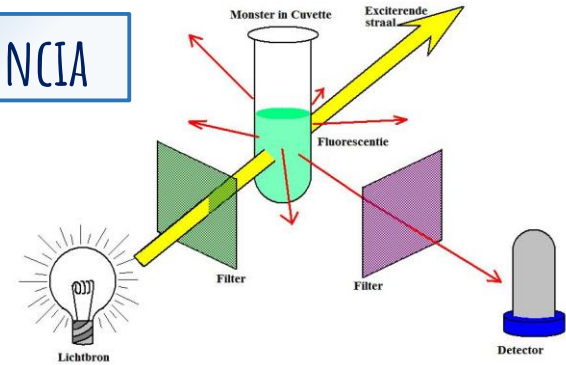
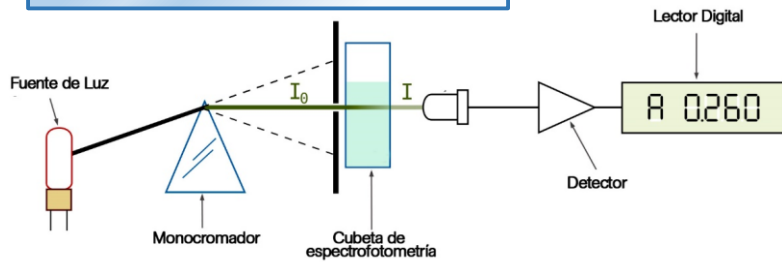


# TÉCNICAS ESPECTROSCÓPICAS

# ESPECTROCOPIA MOLECULAR

## ABSORCIÓN: UV-VISIBLE

## EMISIÓN: FLUORESCENCIA



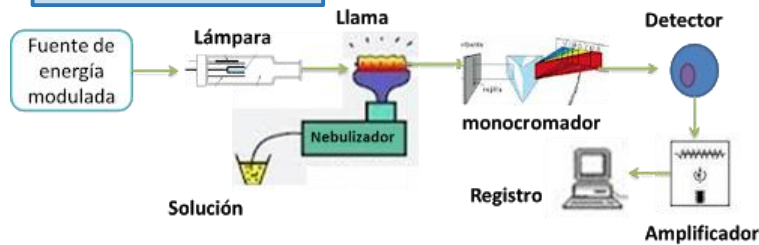
- ✓ Pequeño volumen de muestra (posibilidad de usar microcubetas)
- ✓ Dispositivos para incrementar el camino óptico y la sensibilidad
- ✓ Sólo consumo de energía eléctrica
- ✓ Escasos tratamientos de muestras en las sustancias que se determinan en forma directa
- ✓ Los métodos de emisión se adaptan a la miniaturización (Técnica miniaturizada de detección en chip)

- ✓ Uso de reactivos y solventes en muestras que requieren tratamiento o reacciones colorimétricas
- ✓ Difícil miniaturización de los métodos de absorción (Limitante, la sensibilidad)

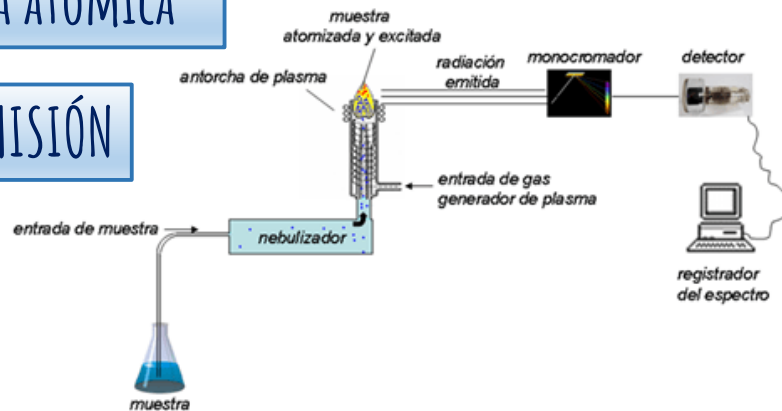
# TÉCNICAS ESPECTROSCÓPICAS

# ESPECTROSCOPIA ATÓMICA

## ABSORCIÓN



## EMISIÓN



✓ Consumo importante de energía para la atomización y/ o excitación

✓ Algunas de estas técnicas requieren el uso de un alto flujo de especies gaseosas, por lo que es necesario tener en cuenta el impacto ambiental derivado de la producción de aquellas, así como el efecto derivado de la emisión de estos gases o sus derivados a la atmósfera

✓ La AA requiere una lámpara por analito y no permite el análisis multielemental

Atom formation	Main atomic techniques	Main environmental disadvantages
Flame	F-AAS, F-AES	High gas consumption ( $C_2H_2$ , $N_2O$ ) Gas emission ( $CO_2$ )
Electrothermal	GFAAS	High electric consumption
Plasma	ICP-AES ICPMS	Moderate gas consumption (Ar) High gas consumption (Ar)
Plasma	GD-AES GD-MS	High electric consumption

TÉCNICAS ESPECTROSCÓPICAS

ESPECTROSCOPIA ATÓMICA

ABSORCIÓN

EMISIÓN

Atomización electrotérmica

- ✓ Programas que minimizan secado y pirolisis
- ✓ Atomizadores alternativos que reducen el consumo de energía y permiten fabricar equipos pequeños y transportables

✓ Métodos multianálisis

✓ Técnicas basadas en el uso de microplasma

# TÉCNICAS ELECTROQUÍMICAS

POTENCIOMETRÍA  
COULOMBIMETRÍA

VOLTAMETRÍA  
CONDUCTIMETRÍA

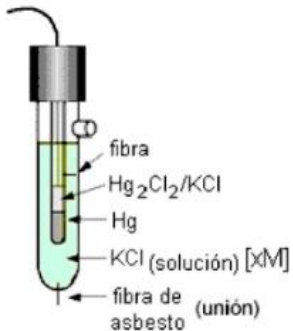
✓ Se pueden adaptar la construcción de los electrodos o celdas electroquímicas de manera de utilizar materiales no tóxicos.



## Ejemplo: Electrodo de mercurio

Se fabrican con cantidades mínimas de mercurio o directamente con otros materiales

1. Electrodos compuestos de sólidos o líquidos amalgamados: dropping (DME), hanging drop (HMDE) and film mercury (MFE) electrodes.
2. Electrodos de bismuto.
3. Electrodos basados en nanomateriales



Electrodo de calomel

✓ Se adapta fácilmente a la utilización de solventes verdes. No requiere solventes orgánicos

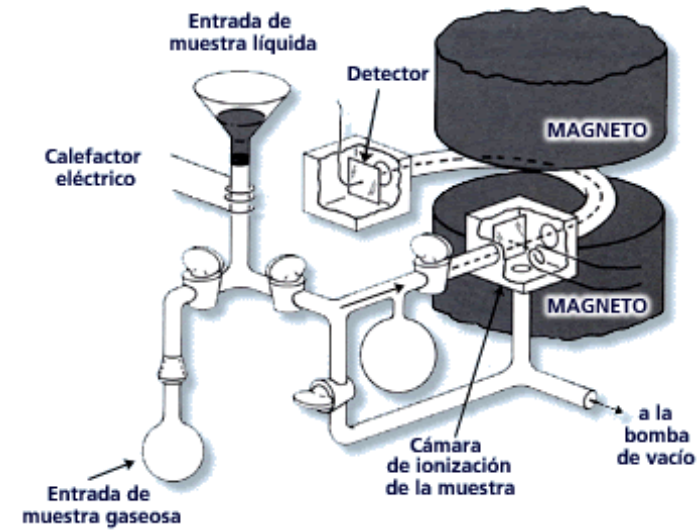
✓ Permite la miniaturización de los electrodos y dispositivos de medida.

✓ Las muestras no requieren tratamiento. No requiere uso de solventes y apto para análisis en campo y en línea

## OTRAS TÉCNICAS

## ESPECTROSCOPIA DE MASA

- ✓ Elevado consumo de energía. Requiere vacío constante, aún cuando el equipo no se encuentra funcionando.
- ✓ Los métodos de ionización por Impacto electrónico (IE), Ionización química (IQ) y Ionización por campo (IC) requiere la introducción de muestras en estado gaseosos



- ✓ Pequeñas cantidades de muestras
- ✓ El acoplamiento a equipos de emisión atómica en plasma permite la detección multielemental
- ✓ Los métodos de ionización por: Desorción por campo (DC), Ionización por electronebulización (IEN), Desorción-ionización asistida por una matriz (MALDI), Desorción por plasma (DP), Bombardeo con átomos rápidos (BAR), Espectrometría de masas de iones secundarios (EMIS) e Ionización por termonebulización (IT) admiten muestras sólidas o líquidas. Permiten análisis de compuestos no volátiles o térmicamente inestables.



# DESCARTES



Se busca no generar residuos o sólo un pequeño volumen de desechos (es decir, <math><50\text{ mL}</math> (g)).



Más pasos en un procedimiento analítico  
→ más reactivos consumidos → mayor volumen de residuos analíticos.



Figura 3.3 – Toma de espectro NIRS con el equipo microPHAZIR, empleando una cubeta de trans-reflectancia

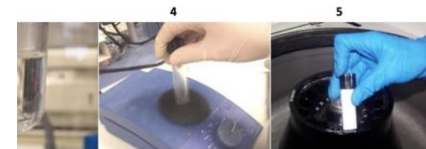
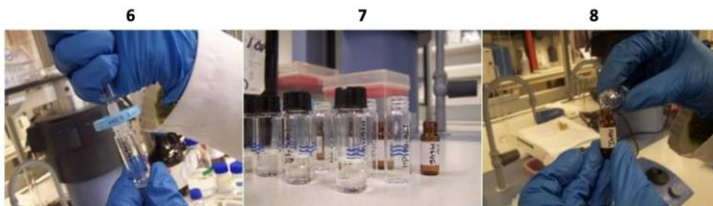
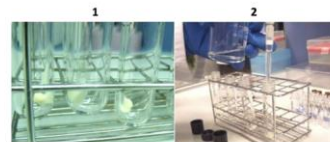


Figura 3.6b – Etapas del proceso de metilación

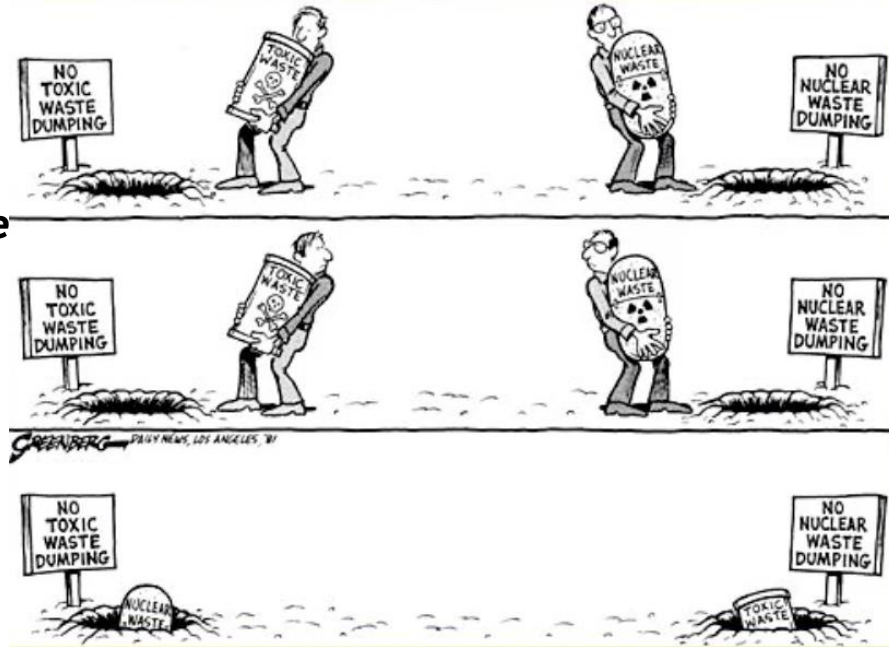
# TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS GENERADOS

Reemplazo de reactivos tóxicos

Uso de disolventes alternativos

Descontaminación de desechos *on-line*

Reciclaje de Residuos



# TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS GENERADOS



**Descontaminación de desechos *on-line*:**

Degradación térmica,

Oxidación,

Oxidación fotocatalítica,

Biodegradación,

Adsorción,

Ultrafiltración (micelar, complejación, polimérica)

# ¿CÓMO SABER SI UNA METODOLOGÍA ES “VERDE”?

¡No es válida la evaluación subjetiva!

Existen algunas herramientas metodológicas:

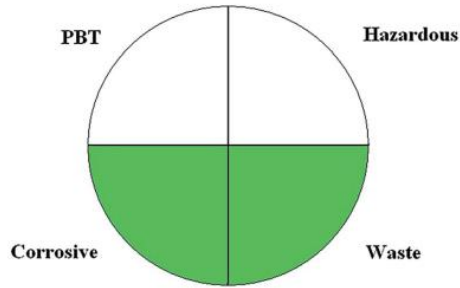
- National Environmental Methods Index (NEMI)
- Analytical Eco-Scale
- Green Analytical Procedure Index (GAPI)

Guías de reactivos y solventes

- Instituto de Química Verde (ACS)
- GlaxoSmithKline (GSK)

# ¿CÓMO SABER SI UNA METODOLOGÍA ES “VERDE”?

## National Environmental Methods Index (NEMI)



Ventaja: Muy simple

Desventajas: Es muy laborioso  
Sólo

cualitativo

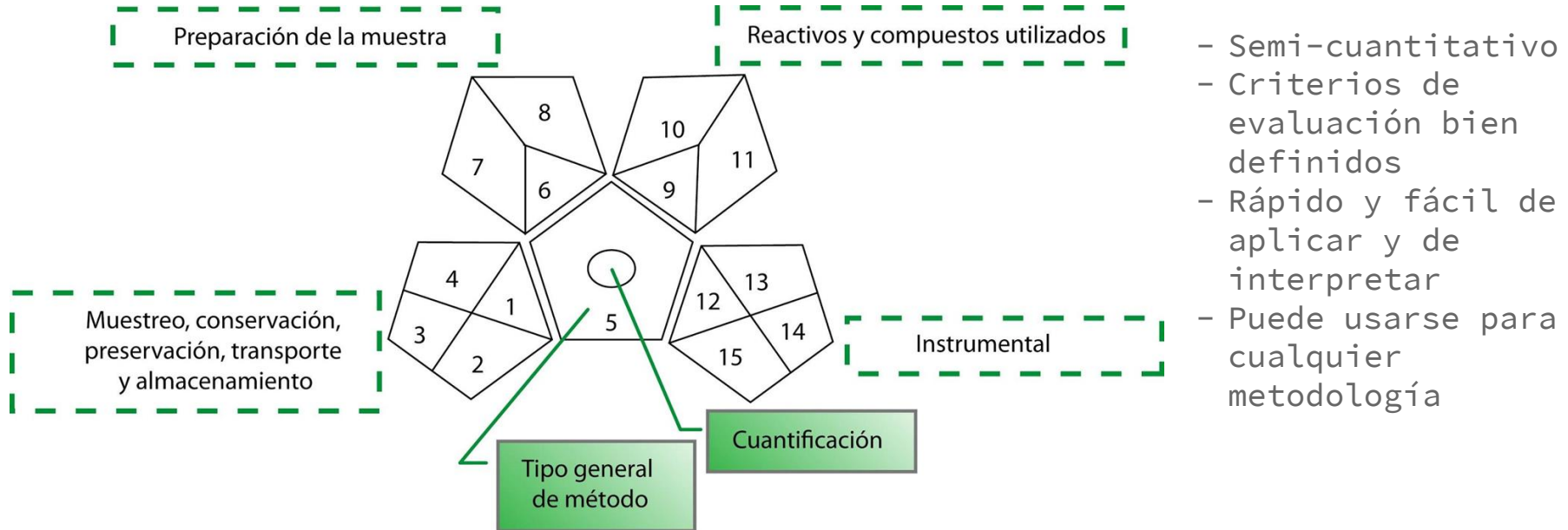
## Analytical Eco-Scale

Penaliza: tipo y cantidad de reactivos, riesgo para el operador, cantidad de energía consumida y tipo de tratamiento de desechos

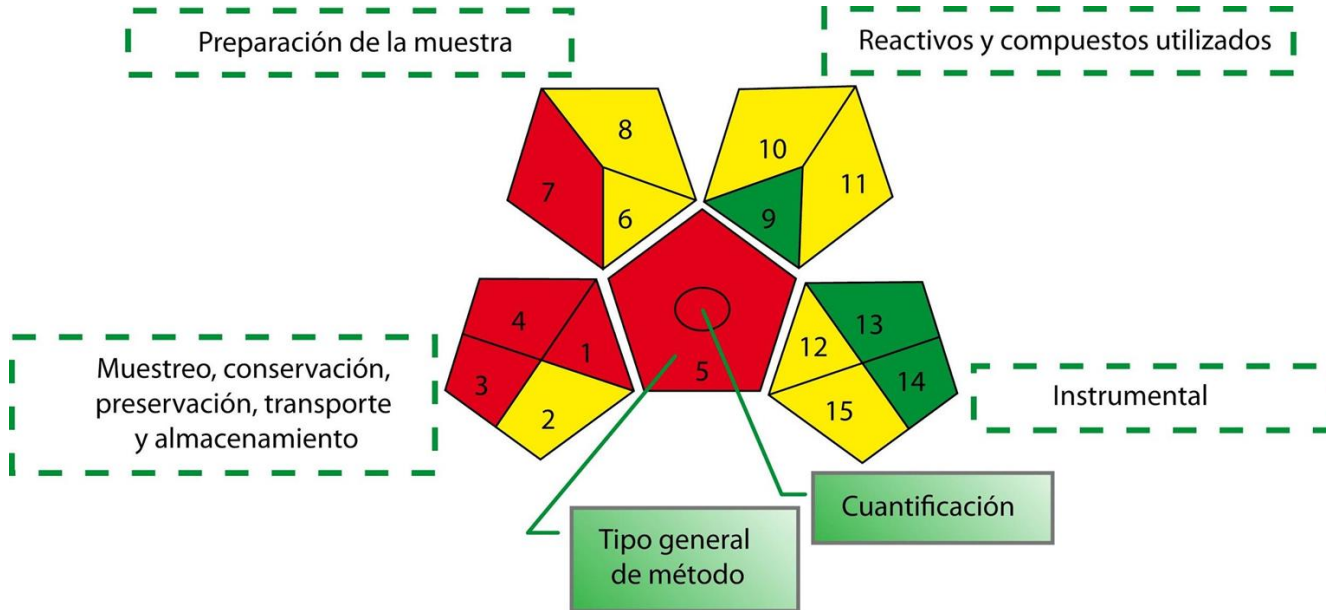


# ¿CÓMO SABER SI UNA METODOLOGÍA ES “VERDE”?

## Green Analytical Procedure Index (GAPI)



# ¿CÓMO SABER SI UNA METODOLOGÍA ES “VERDE”?



Determinación de fluconazol en líquido cefaloespinal utilizando una microextracción dispersiva líquido-líquido seguida de un HPLC verde

# ¿CÓMO SABER SI UNA METODOLOGÍA ES “VERDE”?

ACS GCI Pharmaceutical Roundtable Solvent Selection Guide  
Version 2.0 Issued March 21, 2011  
[www.acs.org/gcipharmaroundtable](http://www.acs.org/gcipharmaroundtable)

<https://reagents.acsgcipr.org/reagent-guides>

<http://learning.chem21.eu/>

Substance Information			Scoring Information				
Solvent Class	Solvent Name	CAS Number	Safety	Health	Env (Air)	Env (Water)	Env (Waste)
Acid	ACETIC ACID	64-19-7	3	6	6	3	6
Acid	ACETIC ANHYDRIDE	108-24-7	3	6	6	2	7
Acid	FORMIC ACID	64-18-6	2	6	5	4	7
Acid	METHANE SULPHONIC ACID	75-75-2			6	6	10
Acid	PROPIONIC ACID	79-09-4	2	5	6	4	6
Alcohol	1-BUTANOL	71-36-3					
Alcohol	1-PROPANOL	71-23-8					
Alcohol	2-BUTANOL	78-92-2					
Alcohol	2-METHOXYETHANOL	109-86-4					
Alcohol	BENZYL ALCOHOL	100-51-6					
Alcohol	ETHANOL	64-17-5					

	HCl	HI	
	HBr	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	HNO <sub>3</sub>
	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> diluido	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	HF
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> diluido	Ácido fórmico	HClO <sub>4</sub>
	Ácido glutárico	Ácido trifluorometansulfónico	
	Ácido benzoico		
	Ácido cítrico	Ácido trifluoroacético	Ácido trifluoroacético
	Ácido acético		

RIESGOS Y  
AMENAZAS

ENERGÍA

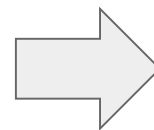
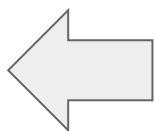
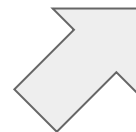
COSTOS

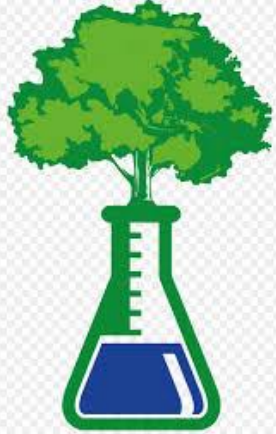
REDUCIR

RESIDUOS

IMPACTO EN EL  
MEDIO AMBIENTE

RECURSOS  
(No renovables)





## REFLEXIONES



✓ Desarrollo de la industria química → Genera elevados costos sociales y ecológicos.

✓ Enorme cantidad de productos químicos → dañan el entorno natural en una escala excepcional.

✓ La química verde → Promueve reducir o prevenir riesgos ambientales y desastres ambientales.

✓ El gran desafío → incorporar estos conceptos en la enseñanza.

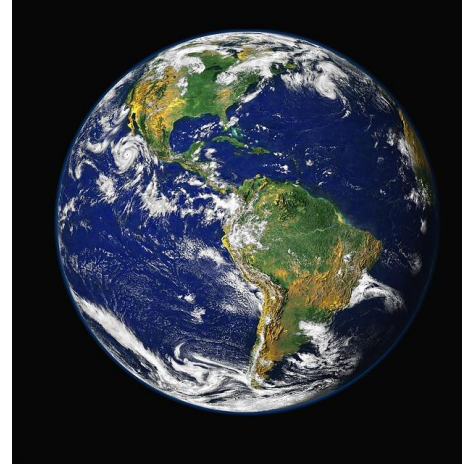
✓ Responsabilidad social



“LA DIFICULTAD YACE, NO EN LAS NUEVAS IDEAS, SINO EN  
ESCAPAR DE LAS VIEJAS”

John Maynard Keynes

VOS,  
¿QUÉ HUELLA QUERÉS DEJAR EN ESTE MUNDO?...



1



2



3





i

Gracias

por

participar

!





*That's all Folks!*

# BIBLIOGRAFÍA

Armenta Sergio, Salvador Garrigues, Miguel de la Guardia (2015). **El papel de las técnicas de extracción verde en la química analítica verde.** *Trends in Analytical Chemistry*, 71:2- 8 DOI: [10.1016/j.trac.2014.12.011](https://doi.org/10.1016/j.trac.2014.12.011)

Chemat, F., M.A. Vian y G. Cravotto (2012) **Extracción verde de productos naturales: concepto y principios.** *Revista Internacional de Ciencias Moleculares*, 13(7):8615–8627. DOI: [10.3390/ijms13078615](https://doi.org/10.3390/ijms13078615)

de la Guardia Miguel, Salvador Garrigues (eds.) (2012) **Manual de Química Analítica Verde.** John Wiley & Sons DOI: [10.1002/9781119940722](https://doi.org/10.1002/9781119940722)

de la Guardia Miguel, Sergio Armenta (eds.) (2010) **Química analítica verde: Teoría y Práctica.** *Comprehensive Analytical Chemistry*. Volume 57. Elsevier

Henderson RK, AP Hill, AM Redman & HF Sneddon (2014) **Development of GSK's acid and base selection guides.** *Green Chemistry*. DOI: [10.1039/c4gc01481b](https://doi.org/10.1039/c4gc01481b)

Joseph PA, CM Alder, I Andrews, AM Bullion, M Campbell-Crawford, MG Darcy, JD Hayler, RK Henderson, CA Oare, I Pendrak, AM Redman, LE Shuster, HF Sneddon & MD Walker (2013) **Development of GSK's reagent guides – embedding sustainability into reagent selection.** *Green Chemistry*. 15:1542-1549. DOI: [10.1039/c3gc40225h](https://doi.org/10.1039/c3gc40225h)

# BIBLIOGRAFÍA

Kurowska-Susdorfa Aleksandra, Marcin Zwierzdzyński, Anita Martinović Bevanda, Stanislava Talić, Anita Ivanković, Justyna Płotka-Wasyłka (2019) **Química analítica verde: dimensión social y enseñanza.** *Trends in Analytical Chemistry* , 111:185-196. DOI: [10.1016/j.trac.2018.10.022](https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.10.022)

Martinis Estefanía M., Paula Berton, Rodolfo G. Wuilloud (2014) **Técnicas de microextracción a base de líquido iónico para el análisis de oligoelementos.** *Trends in Analytical Chemistry*, 60:54-70. DOI: [10.1016/j.trac.2014.04.012](https://doi.org/10.1016/j.trac.2014.04.012)

Tobiszewski Marek (2016) **Métricas para la química analítica verde.** *Analytical Methods*, 8:2993-2999  
DOI: [10.1039/C6AY00478D](https://doi.org/10.1039/C6AY00478D)

# Líquidos iónicos

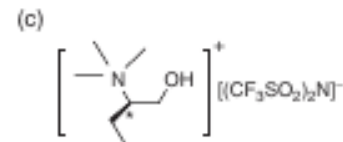
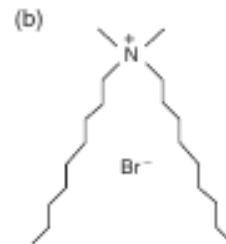
a. alkyimidazolium



$R_1 = C_2H_5, C_3H_7, C_4H_9, C_5H_{11}, C_6H_{13}, C_{10}H_{21}$

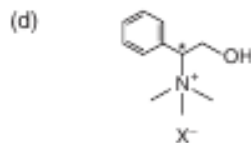
$X^- = BF_4^-, PF_6^-, NO_3^-, CF_3SO_3^-, Br^-, Cl^-, CF_3COO^-, CH_3COO^-$

b. dimethyldinonylammonium bromide



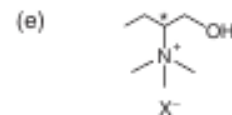
c. (R)- N,N,N-trimethyl-2-aminobutanol

bis(trifluoromethanesulfone)imide



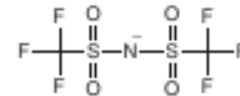
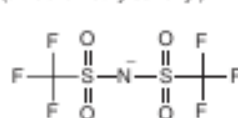
$X = \text{Bis(trifluoromethylsulfonyl) imide } NTf_2^-$

d. phenylcholine-bis(trifluoro-methanesulfone)imide



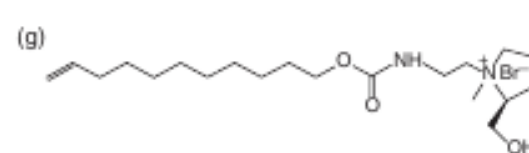
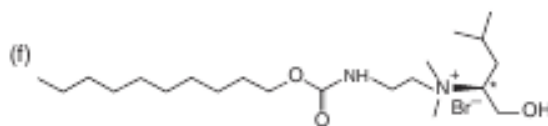
$= \text{Bis(trifluoromethylsulfonyl) imide } NTf_2^-$

e. ethylcholine-bis(trifluoromethanesulfone)imide

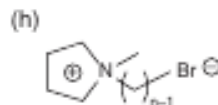


f. undecenoxy carbonyl-L-leucinol bromide (L-UCLB)

g. undecenoxy carbonyl-L-pyrrolidinol bromide (L-UCPB)

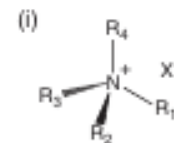


h. N-alkyl-N-methylpyrrolidinium bromide



$n = 19, 17, 15, 13$

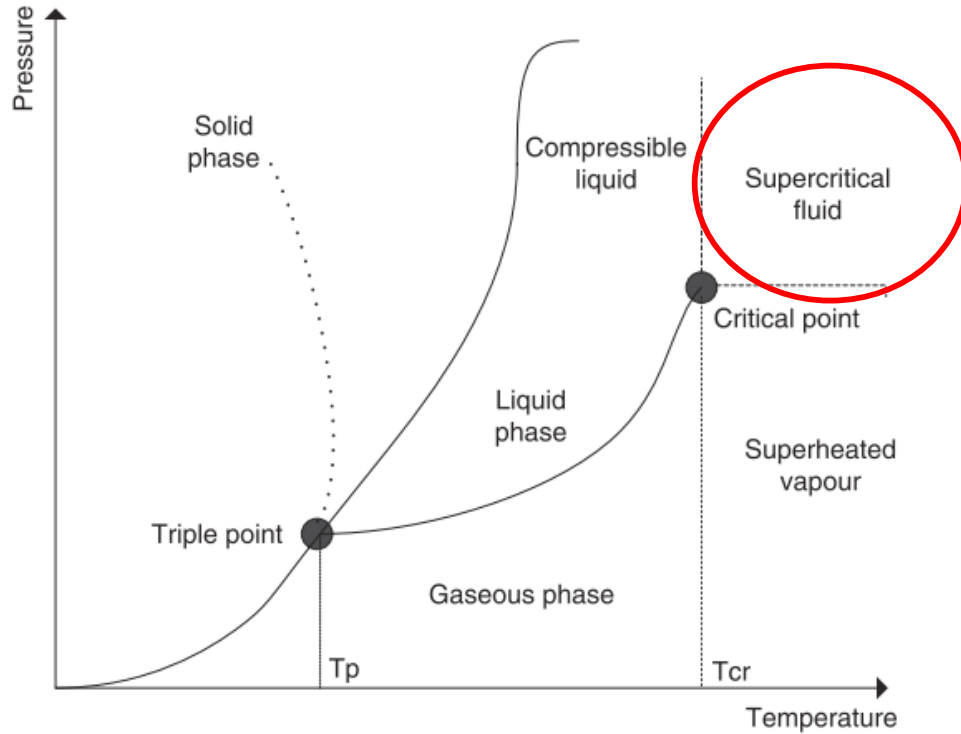
i. tetraalkyl-ammonium tetrafluoroborate

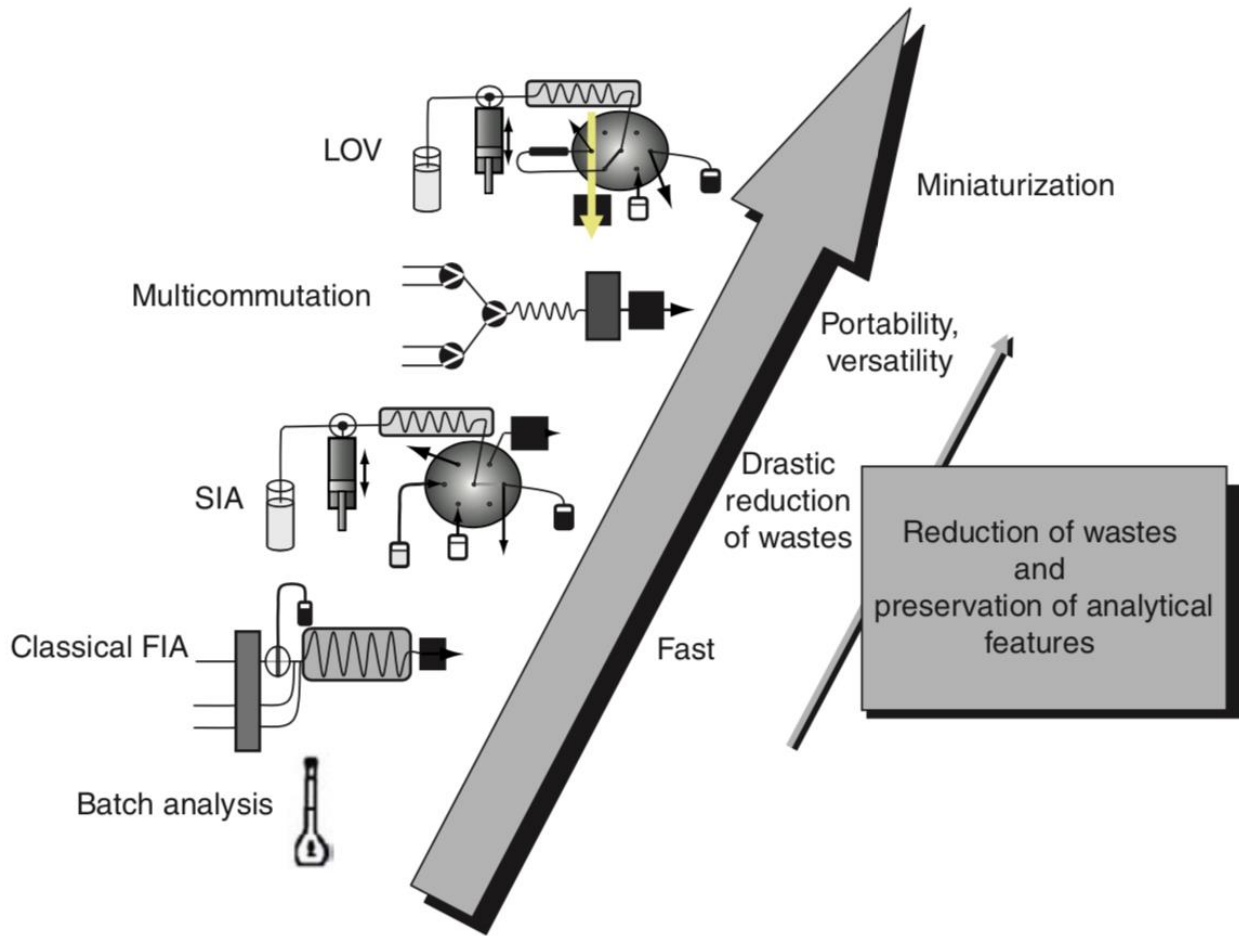


$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = CH_3, C_2H_5, C_3H_7, C_4H_9$

$X = BF_4^-$

# DIAGRAMA DE FASES





**Figure 8.2** Evolution of the mechanization and automation strategies as a search for a fast, versatile, and waste minimization strategy.