

HERRAMIENTAS ANALÍTICAS EN ESTUDIOS MEDIOAMBIENTALES

- Introducción.
 - Preguntas básicas antes de abordar el análisis.
- Visión general de las operaciones y técnicas más usuales y aplicaciones medioambientales.
 - Operaciones y técnicas de preparación de muestras.
 - Las técnicas de separación cromatográficas.
 - Las técnicas espectroscópicas: del nacimiento a la actualidad.
 - Las técnicas electroanalíticas.
 - Parámetros o Analitos de interés medioambiental versus Técnicas de Análisis.
- Bibliografía recomendada.

Actualmente, existe un gran bagaje de métodos y técnicas instrumentales a disposición de muy variados profesionales, con el fin de la realización de análisis químicos cualitativos, cuantitativos o estructurales, en muestras inorgánicas, orgánicas o biológicas; sin los mismos no se podrían abordar numerosos estudios y resolver problemas que se plantean en numerosas disciplinas o en diversas áreas del conocimiento.

En línea con lo anteriormente afirmado y generalizando todo lo posible, nos hacemos eco de las palabras de los autores de la obra “Análisis Instrumental” K.A. Rubinson y J.F. Rubinson: “¿Qué tienen en común la antropología, la botánica, la química, la ingeniería, la medicina forense, la geología, la ciencia de los materiales, la medicina, la biología molecular, la farmacología y la toxicología?. Todas estas disciplinas dependen de análisis químicos. ¿Por qué? Porque las gentes que trabajan en estas áreas necesitan contestaciones a preguntas sobre la composición de las sustancias con las que están trabajando. ...”

En esta conferencia se pretende dar una visión general de las técnicas analíticas que pueden ser usadas en estudios medioambientales, considerando el “medio ambiente” como la suma total de ambientes humanos, que abarcan la atmósfera, la hidrosfera, la litosfera y la biota. Para la realización de dichos estudios se dispone en la actualidad de un gran bagaje de herramientas analíticas; el analista acude a ellas para seleccionar las más adecuadas con el propósito de realizar determinaciones físico-químicas, tanto en el medio ambiente natural (*background monitoring*), como en el medio ambiente contaminado (*pollution monitoring*).

Finalmente, y con el fin de profundizar en el conocimiento de las técnicas físico-químicas de análisis usuales así como los métodos de separación, recomendamos al final de la exposición algunos libros considerados de interés general y que suelen presentar adecuadas actualizaciones en sucesivas ediciones. Para el no profesional de la química analítica podría ser de gran interés la sexta edición en castellano del libro “Análisis Químico Cuantitativo”,

del autor Daniel C. Harris. El autor indica literalmente: “Este libro fue el resultado de un curso introductorio de Química Analítica, que di a estudiantes fundamentalmente no químicos de la Universidad de California, en Davis, y de otro que impartí a estudiantes de tercer curso de Química en el Colegio Universitario de Franklin y Marshall en Lancaster, Pensylvania”. El libro presenta, con claridad y ejemplos muy actuales, tanto las principales técnicas de separación como las técnicas físico-químicas de análisis.

Introducción

La física y la química han proporcionado desde el siglo pasado numerosos e importantes avances que han sido fundamentales para el desarrollo de sensibles y precisas técnicas físico-químicas de análisis; éstas, a su vez, han servido de poderosas herramientas para los grandes avances y descubrimientos en los campos de la química, bioquímica, biología y física.

No debe olvidarse que los avances citados no solo han llevado a la identificación de compuestos o elementos químicos al nivel de trazas y subtrazas (partes por millón, billón, trillón...) en matrices medioambientales y biológicas, sino que se ha dado un paso importantísimo en la identificación, diferenciación y separación de compuestos químicos y bioquímicos de igual fórmula química pero distinta configuración espacial. Como consecuencia de dichos conocimientos científicos, cabe resaltar el desarrollo y aislamiento de anticuerpos monoclonales o el diseño y producción de compuestos con actividad bioquímica específica; en la actualidad muchos de ellos son artífices de la curación de enfermedades que no hace muchos años se consideraban incurables.

La metodología analítica moderna engloba, “grosso modo”, a los procedimientos, técnicas o métodos de separación, así como a las técnicas de identificación y cuantificación, en su mayoría instrumentales. La matriz de la muestra condiciona la elección del método global requerido para la identificación, cuantificación o determinación estructural del objeto analizado.

Un problema analítico real nos lleva, en la mayoría de los casos, a la aplicación de procesos de separación, identificación y mediciones cuantitativas. Así, un compuesto o elemento químico acumulado en un organismo no puede ser monitorizado sin la intervención de técnicas o métodos de separación; ello puede implicar el aislamiento, la concentración y/o la separación de un analito de una especie que interferiría en su análisis.

Preguntas básicas antes de abordar el análisis químico

Conviene destacar que antes de establecer un procedimiento de análisis, deberíamos hacernos las siguientes preguntas:

- a) ¿[Qué](#) hay que analizar y [por qué](#)?
- b) ¿[Dónde](#)?
- c) ¿[Quién tomará la muestra](#)?
- d) ¿A qué [nivel de concentración](#) se encuentra el(los) [analito\(s\)](#)?
- e) ¿De qué [métodos y técnicas dispongo](#) para el análisis?
- f) ¿[Cómo](#) abordaré el [tratamiento de los resultados](#)?
- g) ¿[Qué implicación tendrán los resultados](#)?

Los métodos actuales de análisis emplean técnicas fisico-químicas para la determinación de una propiedad relacionada cualitativa y/o cuantitativamente con el analito; así, en una técnica voltamperométrica el voltaje es función de la especie determinada (análisis cualitativo) y la intensidad es función de la cantidad de la misma (análisis cuantitativo). No obstante, la complejidad de muchas muestras, tales como las biológicas, implican la preparación meticulosa de la misma antes de abordar la determinación físico-química. Así, un tejido de un pez no se trata de la misma forma que un tejido de una planta, aunque se requiera determinar en ambos casos el contenido de trazas metálicas. Además, la complejidad del tratamiento puede ser mayor cuando se trate de analizar en dichos tejidos ciertos contaminantes orgánicos. Un ejemplo de lo dicho puede ser el análisis de la acumulación de compuestos organofosforados en peces o en frutas.

De lo anteriormente afirmado, debe deducirse que en esta básica exposición sería osado simplificar el complejo mundo de la preparación de muestras y técnicas de separación. Con el fin de presentarle al profesional no químico una panorámica de las operaciones y técnicas que se requieren poner en práctica antes de efectuar un análisis o determinación instrumental, se expone una sencilla clasificación de las operaciones y técnicas de preparación de muestras (**tabla 1**) y de los métodos de separación cromatográficos (**tabla 2**).

Tabla 1

CLASIFICACIÓN DE LAS OPERACIONES/TÉCNICAS USUALES PARA LA PREPARACIÓN DE MUESTRAS		
Denominación usual	Fundamento	Aplicaciones
<i>Disolución</i>	Solubilidad de sustancias en disolvente apropiado (Q o no)	Muestras inorgánicas u orgánicas
<i>Digestión</i>	Disolución con ácidos o bases y oxidantes o reductores	Muestras inorgánicas u orgánicas de difícil disolución
<i>Digestión proteolítica o enzimática</i>	Tratamiento con enzimas (arilsulfatasa, trisina, subtilisina, etc.)	Muestras biológicas
<i>Desproteización</i>	Precipitación de proteínas (sulfatoamónico, ácido tricloroacético, cloruro de aluminio,...) y centrifugado	Muestras biológicas
<i>Digestión y disolución por microondas</i>	Campo electromagnético asociado a las microondas y reactivos	Materia orgánica, compuestos metálicos (eliminar gases)
<i>Digestión y disolución asistida por ultrasonidos</i>	Aumento de la velocidad de difusión calentando y agitando con ultrasonidos	Muestras orgánicas, biológicas, algunas inorgánicas.
<i>Extracción líquido-líquido</i>	Diferencia de solubilidad de un analito o un producto del mismo con un reactivo, entre dos disolventes	Separación de compuestos orgánicos, metales quelatados, etc. contenidos en muestras biológicas, orgánicas o inorgánicas.
<i>Extracción Soxhlet</i>	Solubilidad de sustancias sólidas en disolvente orgánico caliente.	Separación de compuestos contenidos en matrices sólidas con disolventes orgánicos.
<i>Extracción por fluidos supercríticos (SFE)</i>	Uso de un fluido supercrítico, que es una sustancia sometida a unas temperaturas y presiones superiores a su punto crítico; por encima del punto crítico coexisten las fases líquida y gaseosa de una sustancia.	Uso de fluidos supercríticos para extracción de: <ul style="list-style-type: none"> - Sustancias poco o moderadamente polares (con CO₂): nicotina, colesterol, lípidos, pesticidas, grasas, etc. - Analitos más polares (con NH₃, H₂O, o CO₂ con modificador de polaridad); con H₂O/ CO₂ caféina.
<i>Extracción en fase sólida (SPE; solid phase extraction)</i>	Adsorción específica de analitos, contenidos en una disolución, sobre una fase sólida estacionaria, con posterior elución usando pequeño volumen de disolvente extractor.	Separación de “grupos” de moléculas con propiedades químicas similares; por ejemplo, plaguicidas en aguas separados de moléculas de diferente carga y polaridad.
<i>Micro extracción en fase sólida (SPME)</i>	Extracción sólido-líquido o sólido-gas que elimina totalmente el uso de disolventes. Uso de fibra de sílice fundida y revestida de material adsorbente.	Concentración y extracción de compuestos de amplio rango de pesos moleculares y polaridades.

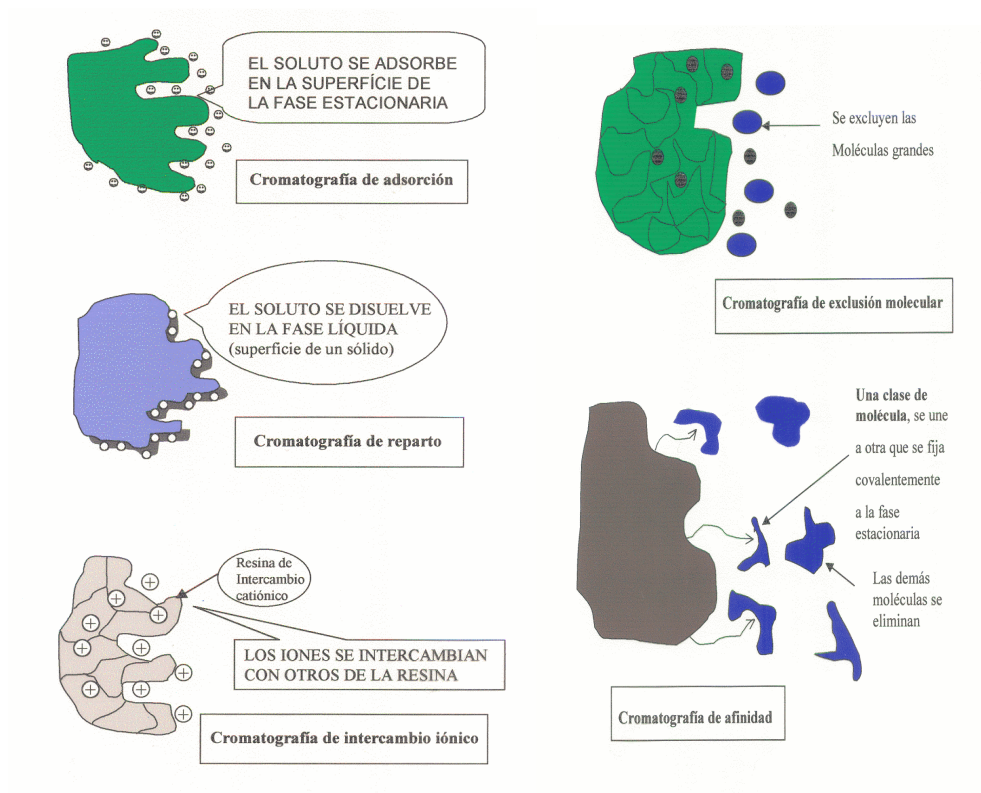
Teniendo en cuenta que cualquier técnica cromatográfica se basa en “la separación de los componentes de una mezcla en función de la diferente movilidad en un medio poroso (fase estacionaria) cuando son arrastrados por un fluido (fase móvil o eluyente)”, se suelen clasificar los métodos atendiendo a distintos criterios, tales como las fases, las interacciones entre sustancias separadas y fase estacionaria, la temperatura de la fase móvil, etc., varias de las cuales se recogen en la **tabla 2**.

Tabla 2

CLASIFICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE SEPARACIÓN CROMATOGRÁFICOS ATENDIENDO A DISTINTOS CRITERIOS				
Según las interacciones analito-fase estacionaria	Según la fase móvil	Según la disposición de la fase estacionaria	Según la composición de la fase móvil	Según la Temperatura de la fase móvil
Adsorción	Líquida	Columna	Isocrática	Isoterma
Reparto	Gaseosa	Placa	Gradiente	Gradiente
Exclusión molecular	Fluidos supercríticos	Papel		
Intercambio iónico				
Afinidad				

Debido a que en el proceso cromatográfico es fundamental la interacción entre el soluto o analito (denominación si el soluto es objeto del análisis después de la separación) y la fase estacionaria, se suele usar la clasificación según se indica en la primera columna de la **tabla 2**. Así, en la **figura 2**, se representan las interacciones entre ambas fases.

Figura 2
Tipos de cromatografía atendiendo a la interacción soluto-fase estacionaria



Clasificaciones de las técnicas instrumentales más usuales

En primer lugar daremos una visión general de las técnicas que emplea el análisis instrumental y posteriormente se presentarán esquemas para exponer los principales métodos de separación. En la **tabla 3** se recopilan los métodos instrumentales más usuales clasificados en función de la señal analítica empleada por el mismo; recordar que un método instrumental mide una propiedad de la muestra analizada y la relaciona con un conjunto de analitos (técnica no específica) o un solo analito (técnica específica), con fines cualitativos, cuantitativos y/o estructurales.

Tabla 3

**Métodos instrumentales
usuales
y señales utilizadas**

Señal	Método instrumental
Absorción de la radiación	Espectrofotometría y fotometría (IR, UV, Vis, RX); espectroscopía fotoacústica; espectroscopía de resonancia de espín electrónico y resonancia magnética nuclear
Emisión de la radiación	Espectroscopía de emisión (rayos X, UV, Vis, de electrones, Auger); fluorescencia, fosforescencia y luminiscencia (rayos X, UV, Vis.)
Dispersión de la radiación	Turbidimetría; nefelometría; espectroscopía Raman
Refracción de la radiación	Refractometría; interferometría
Difracción de la radiación	Métodos de difracción de rayos X y de electrones
Rotación de la radiación	Polarimetría; dispersión rotatoria óptica; dicroísmo circular
Potencial eléctrico	Potenciometría, cronopotenciometría
Carga eléctrica	Coulombimetría
Corriente eléctrica	Polarografía; amperometría
Resistencia eléctrica	Conductimetría
Razón masa a carga	Espectrometría de masas
Velocidad de reacción	Métodos cinéticos
Propiedades térmicas	Conductividad térmica y métodos de entalpía
Radioactividad	Métodos de activación y de dilución isotópica

Las técnicas espectroscópicas: del nacimiento a la actualidad

En la clasificación general (**tabla 3**) se citan técnicas de espectroscopia, tanto en los casos de absorción de radiación como de emisión de la misma. Debe indicarse que en el nacimiento de las técnicas que usan la radiación electromagnética, se usó la denominación “espectroscopia” para las técnicas que usaban instrumentos ópticos y solamente la región visible del espectro. No obstante, en la actualidad la espectroscopia se clasifica en óptica y no óptica.

La diferencia entre ambas queda reflejada en la **tabla 4**. No obstante, debe entenderse como una clasificación científica y, por consiguiente, no manejada por personal de laboratorios de rutina.

Tabla 4

ESPECTROSCOPIA

Breve Historia

- **Históricamente:** Rama de la Ciencia \Rightarrow la luz se descomponía \Rightarrow Espectros
- **Primeros instrumentos** \Rightarrow región visible \Rightarrow Instrumentos ópticos

Espectroscopía óptica (actualidad)

- **Regiones:** UV, Visible e IR (terminología no estricta)
- **Fenómenos:** 1) Absorción, 2) Fluorescencia, 3) Fosforescencia, 4) Dispersión, 5) Emisión, 6) Quimioluminiscencia
- **Instrumentos:** a) Fuente de REM, b) Recipiente:muestra, c) Selector λ , d) Detector de REM, e) Lectura y tratamiento de la señal

Espectroscopía (no óptica: actual ampliación)

- *De rayos gamma*
- *De rayos X*
- *De microondas*
- *De resonancia magnética nuclear*
- *De masas (Espectrometría) (método no electromagnético)*
- *De electrones (método no electromagnético)*
- *Acústica (método no electromagnético)*

Con el fin de evitar clasificaciones excesivamente científicas, se suele emplear una clasificación más sencilla para las técnicas espectroscópicas (**tabla 5**), más fácil de manejar por especialistas y no especialistas del análisis químico.

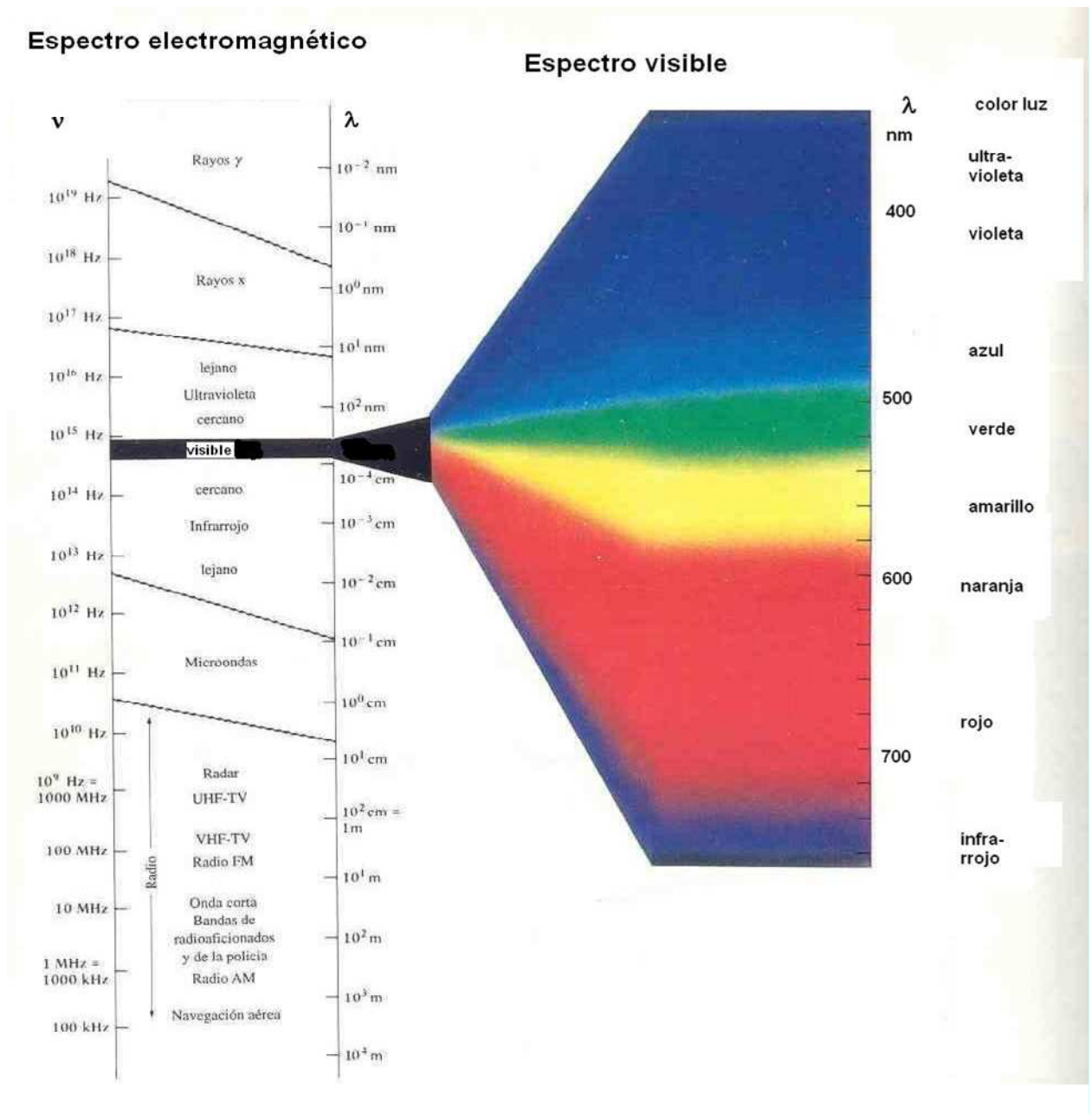
Tabla 5

ESPECTROSCOPIA
CLASIFICACIÓN USUAL PARA SU ESTUDIO

- **Espectroscopía de absorción molecular UV/visible**
- **Espectroscopía de absorción en el infrarrojo**
- **Espectroscopía atómica basada en la atomización con llama y electrotérmica**
- **Espectroscopía de fluorescencia, fosforescencia y quimioluminiscencia molecular**
- **Espectroscopía de emisión basada en la atomización con plasma, arco o chispa**
- **Espectroscopía Raman (radiación dispersada)**
- **Espectroscopía de resonancia magnética nuclear**
- **Espectroscopía de rayos X**

Si abruma al especialista de otras áreas tantas clasificaciones y los nombres de las técnicas, se recomienda ir a la **figura 3** y, ante el espectro electromagnético, se recuerde que las radiaciones electromagnéticas que componen el mismo (la energía de cualquier radiación electromagnética (REM) se puede calcular usando la expresión $E = h \cdot V = h \cdot C / \lambda$; siendo V la frecuencia, λ la longitud de onda y C la velocidad de la REM en el vacío) pueden ser producidas para que sean absorbidas por la materia o bien pueden ser emitidas por la misma (generalmente previa excitación de la materia), en ambos casos con fines analíticos (cualitativos, cuantitativos o estructurales). De aquí se deriva la división más general de las técnicas basadas en las propiedades espectrales (espectroscópicas), considerando dos grandes grupos: técnicas de absorción y técnicas de emisión, ya sean las moléculas (moleculares) o los átomos (atómicas) los causantes de dichos fenómenos (**figura 4**).

Figura 3



La radiación electromagnética (REM) puede ser absorbida, emitida, dispersada, refractada, difractada o rotada por la materia. Además, podemos trabajar con REM tan poco energéticas como las ondas de radio hasta las muy energéticas como los denominados rayos X o rayos γ . De aquí, la gran variedad de técnicas que se basan en las propiedades de la REM y su interacción con la materia. Por consiguiente, los espectros moleculares y atómicos proporcionan al campo analítico una herramienta muy valiosa para la realización de análisis cualitativo, cuantitativo y estructural.

Tal como se indicó anteriormente, las técnicas espectroscópicas más utilizadas se basan en la absorción o en la emisión de moléculas o átomos. En la figura 4, se nombran dichas técnicas. Al final de la misma se cita una importante técnica de emisión atómica no espectroscópica (ICP-MS), que se fundamenta en la producción de iones en un plasma acoplado inductivamente (ICP) y en la separación e identificación de los mismos según su masa, en un espectrómetro de masas (MS).

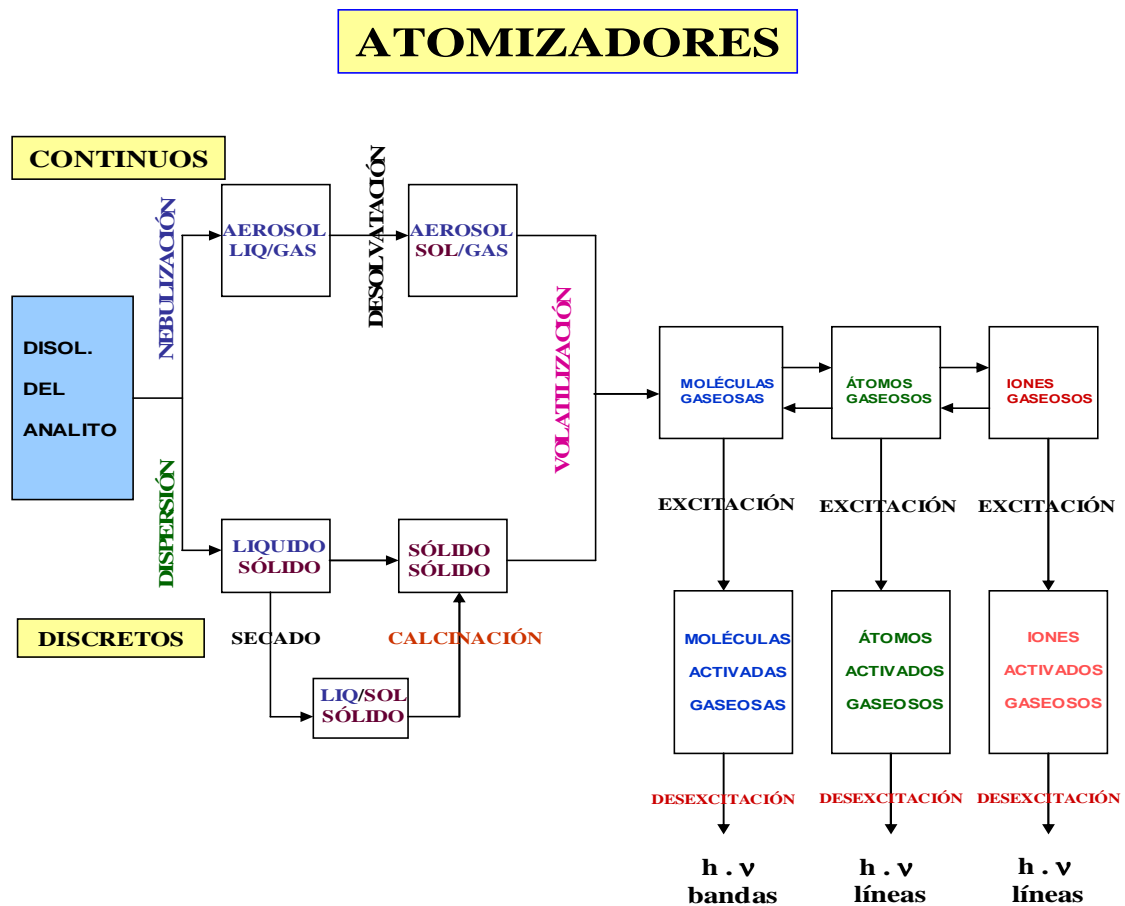
Figura 4



Aquí vamos a hacer hincapié en la espectroscopia atómica, mediante la cual se determinan cualitativa y cuantitativamente unos setenta elementos. Éstas técnicas se han generalizado porque se consiguen determinaciones rápidas, selectivas y sensibles; además, algunas de ellas permiten la realización de análisis multielemental en breves tiempos. Las técnicas espectroscópicas atómicas requieren medir absorciones o emisiones de luz a átomos aislados, por lo que solo se puede llevar a cabo dentro de un medio

gaseoso, en el cual los átomos individuales se encuentran separados unos de otros. Por consiguiente, el primer paso en dichos métodos espectroscópicos es la atomización, un proceso en el cual la muestra se volatiliza y descompone para producir un gas atómico. La eficacia y reproducibilidad del paso de atomización determina en gran parte la sensibilidad, precisión y exactitud del método. Para la adecuada atomización de la muestra se emplean sistemas de atomización o atomizadores, que pueden clasificarse en dos grandes grupos, a saber: continuos y discretos (**figura 5**).

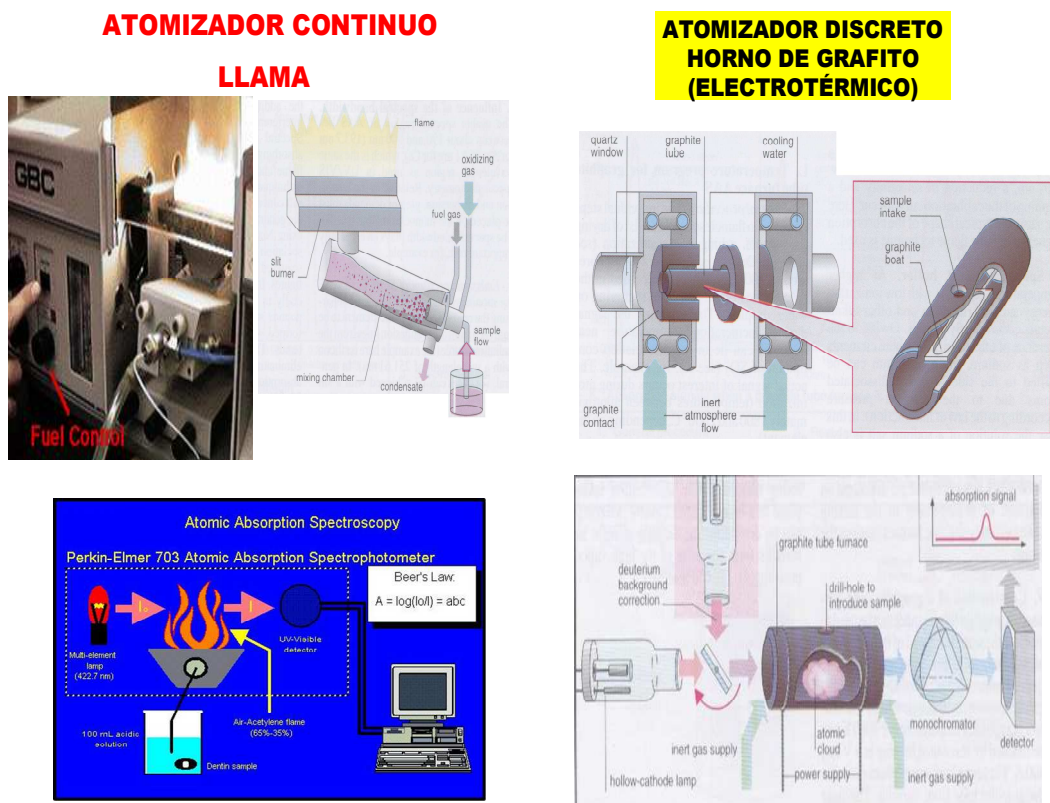
Figura 5



En los atomizadores continuos la muestra disuelta se introduce de forma continua con el fin de producir un aerosol que en una llama o en un plasma sufrirá procesos de desolvatación y volatilización para producir moléculas gaseosas, átomos gaseosos e iones gaseosos; según sea la técnica de absorción o emisión a emplear, la atomización procurará que el porcentaje mayoritario en el gas producido sean átomos o iones, respectivamente (**figuras 5 y 6-izquierda**).

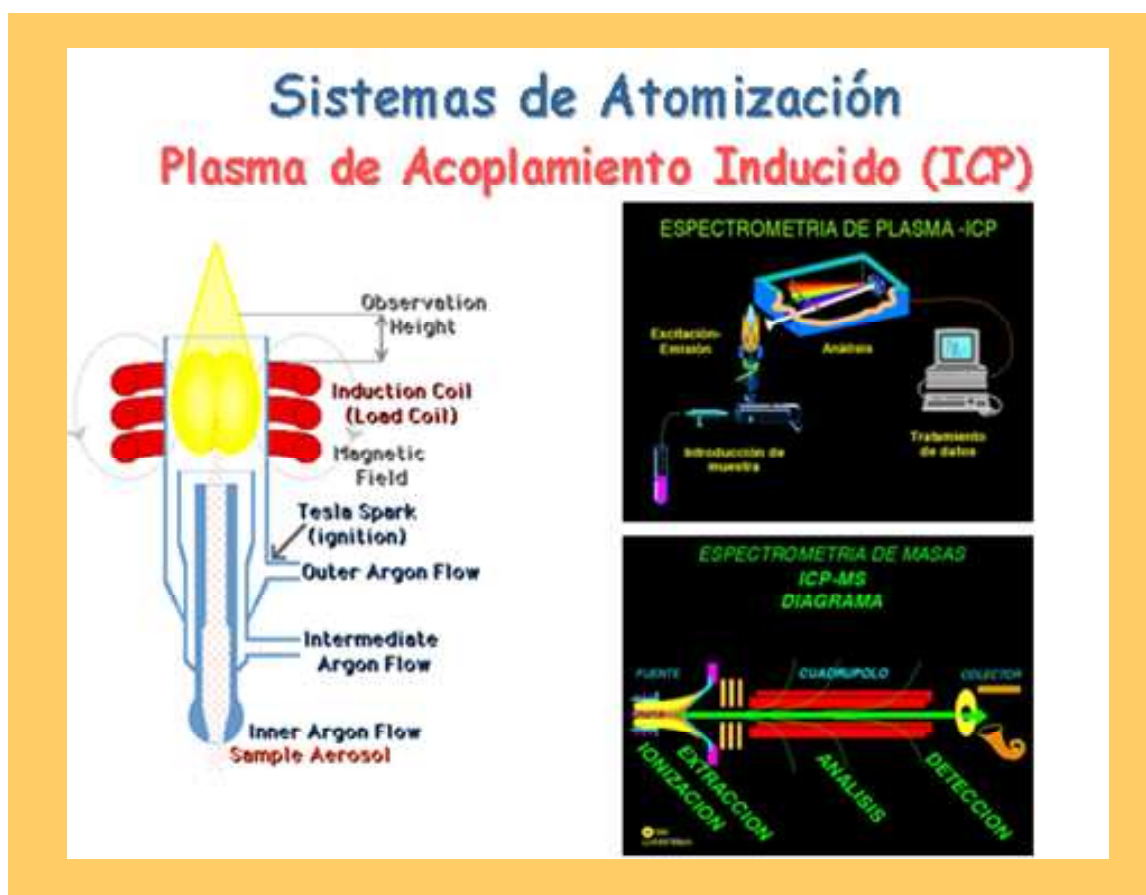
Si se emplean atomizadores discretos, la muestra (disuelta o no) se introduce de manera discontinua con el fin que en el atomizador (por ejemplo, el llamado horno de grafito o atomizador electrotérmico) se produzcan procesos de dispersión, secado, calcinado y volatilización; de ésta forma se obtienen, al igual que en el atomizador continuo, moléculas gaseosas, átomos gaseosos e iones gaseosos; empleando éste tipo de atomización se mide la absorción de luz, por lo que interesa producir un porcentaje elevado de átomos en el proceso de volatilización (**figuras 5 y 6-derecha**).

Figura 6



El uso de la llama como atomizador continuo puede servir para medir absorción o emisión. Sin embargo, cuando se emplea un plasma puede medirse la emisión de REM que producen los iones (nunca absorción de REM, pues no encontraremos átomos sin ionizar en un plasma) o bien se pueden usar los mismos para analizarlos en un espectrómetro de masas; en la **figura 7** se representa un sistema de atomización mediante un plasma de acoplamiento inducido (ICP) con sistemas de detección espectroscópico (**figura superior derecha**) o de masas (**inferior derecha**).

Figura 7

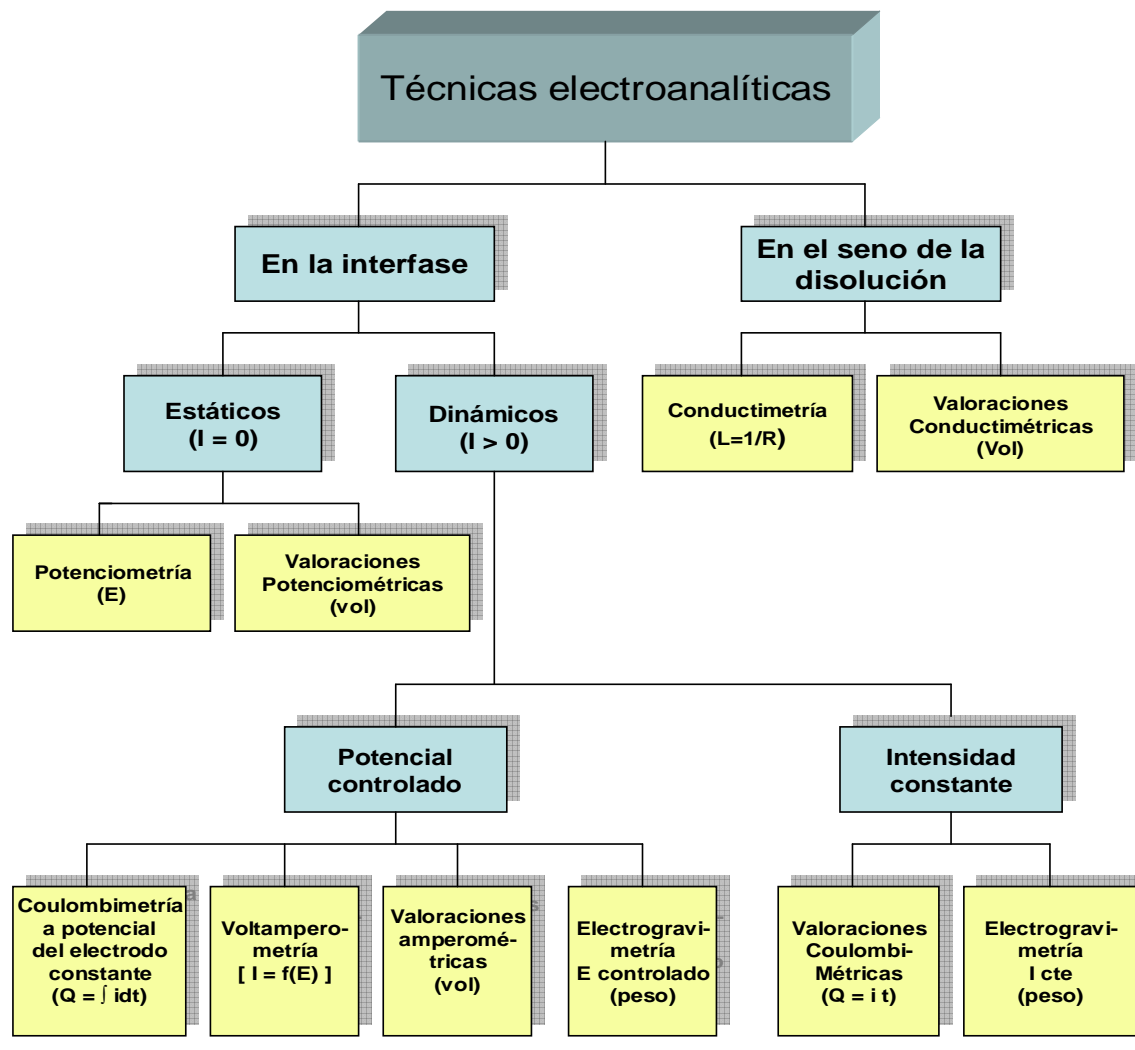


Las técnicas electroanalíticas

Las técnicas electroquímicas aplicadas al análisis (electroanalíticas) se basan en la medición de propiedades eléctricas de la materia y relacionarlas con el analito o analitos con fines cualitativos y/o cuantitativos. En la **figura 8** se puede ver una clasificación de los grupos principales de dichas técnicas, pudiéndose observar que el conjunto de las mismas se puede dividir en dos subconjuntos, atendiendo a que las medidas se realicen en la interfase

electrizada (electrodo sólido-disolución del analito) o bien en el seno de una disolución.

Figura 8



CLASIFICACIÓN SIMPLIFICADA

1. Potenciometría *
2. Conductimetría *
3. Electrogravimetría
4. Voltamperometría *
5. Coulombimetría *

* Estas técnicas sirven de soporte a las correspondientes valoraciones

En el seno de la disolución puede medirse la resistencia o su inversa que se denomina conductividad de la disolución o conductancia. La conductancia se relaciona directamente con el contenido total de iones disueltos, determinándose así, mediante relaciones empíricas, la salinidad del agua de mar (g/Kg). También pueden realizarse valoraciones conductimétricas o titulaciones (ácido-base, de precipitación o de formación de complejos, fundamentalmente) que usan como indicador del punto final un conductímetro.

El mayor grupo de técnicas electroanalíticas está constituido por aquellas que miden algún parámetro eléctrico en la interfase, trabajando a intensidad prácticamente cero (técnicas estáticas) o a intensidad mayor que cero (técnicas dinámicas). Las técnicas potenciométricas son estáticas ($I=0$) y se basan en la medida del potencial de una pila galvánica, constituida por una semipila de referencia y otra semipila donde se encuentra el analito; la concentración del analito se relaciona con el potencial de dicha pila. Las técnicas dinámicas ($I>0$) se basan en el funcionamiento de una celda electrolítica, la cual requiere siempre un aporte externo de energía eléctrica; como puede observarse en la **figura 8**, se opera a potencial controlado o a intensidad constante. Si bien todas las indicadas en la clasificación son de gran interés, en estudios de bioacumulación o medioambiental por determinados metales pesados son muy importantes las técnicas voltamétricas (también denominadas voltamperométricas ya que el análisis se basa en las medidas de intensidad frente al voltaje), ya sean mediante métodos directos o de redisolución anódica o catódica.

De la rápida visión efectuada a la metodología analítica más usual, se deduce que actualmente disponemos de numerosos métodos y técnicas de análisis, los cuales se han desarrollado para el análisis de distintas clases o tipos de analitos; al encontrarse los analitos en muestras orgánicas, inorgánicas o biológicas, generalmente se hace imprescindible la preparación adecuada de la muestra y el uso de métodos de separación, antes de aplicar una técnica de análisis.

La elección de la técnica de medida final debe estar condicionado por los objetivos que determinan las etapas previas. Una vez concretados los parámetros a determinar (analitos), la selección de la técnica analítica más adecuada debe considerar:

- Niveles de concentración del analito en la muestra y límites de detección del método.
- Matriz de la muestra (posibles interferencias).
- Calidad de los resultados (exactitud y precisión requeridas)
- Garantías de fiabilidad del método (“método recomendado”, de “referencia”,...).
- Tiempo máximo para el análisis.
- Técnicas analíticas disponibles.

Parámetros o Analitos de interés medioambiental versus Técnicas de Análisis.

En las siguientes tablas (6 a 9) se recopilan analitos de interés medioambiental, en aguas, aire y biota, frente a las técnicas usuales empleadas para su determinación.

Tabla 6

PARÁMETROS O ANALITOS DE INTERÉS MEDIOAMBIENTAL VS TÉCNICAS ANALÍTICAS	
AGUAS	
PARÁMETROS O ANALITOS / (PREPARACIÓN)	TÉCNICAS USUALES
N-NH₄⁺ / (DESTILAR Y DETERMINAR NH₄⁺: NESSLER O AZUL-INDOFENOL) N-NO₂⁻ / (DETERMINAR CON GRIESS) N-NO₃⁻ / (REDUCIR A NO₂⁻ Y DETERMINAR CON GRIESS) N-ORG./ (DIGESTIÓN KJELDAHL, DETERMINAR NH₄⁺) FÓSFORO: ORTO, CONDENSADOS, ORGÁNICO, TOTAL / (FORMACIÓN DE ORTOFOSFATO Y DETERMINAR CON MOLIBDATO AMÓNICO) METALES / (COMPLEJACIÓN)	ESPECTROFOTOMETRÍA MOLECULAR (VISIBLE)
F⁻, H⁺ POTENCIAL REDOX Cl⁻ ALCALINIDAD	<u>POTENCIOMETRÍA:</u> ELECTRODO SELECTIVO Pt/CALOMEL TITULACIÓN ARGENTOMÉTRICA TITULACIÓN ÁCIDO-BASE
OXÍGENO DISUELTO DBO	VOLTAMETRÍA
METALES O METALES PESADOS	ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA (AAS)
ALGUNOS CONTAMINANTES MAYORITARIOS EN AGUAS	
COMPUESTOS ORGÁNICOS (HERBICIDAS, PESTICIDAS, HIDROCARBUROS...)	TÉCNICAS CROMATOGRÁFICAS
METALES PESADOS	ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA (AAS)
NUTRIENTES	ESPECTROFOTOMETRÍA MOLECULAR (VISIBLE)

Tabla 7

PARÁMETROS O ANALITOS DE INTERÉS MEDIOAMBIENTAL VS TÉCNICAS ANALÍTICAS	
AGUA DE LLUVIA	
PARÁMETROS O ANALITOS	TÉCNICAS USUALES
SALINIDAD	CONDUCTIMETRÍA
Cl ⁻ , NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻ , NH ₄ ⁺ , Na ⁺ , K ⁺ , Mg ²⁺ , Ca ²⁺ , Acetato...	CROMATOGRAFÍA IÓNICA (IC)
Na ⁺ , K ⁺ , Mg ²⁺ , Ca ²⁺	ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA EN LLAMA (FAAS)
Na ⁺ , K ⁺ , Mg ²⁺ , Ca ²⁺	ESPECTROSCOPIA DE EMISIÓN EN LLAMA (FAES)
Na ⁺ , Mg ²⁺ , Ca ²⁺ , Metales traza.	PLASMA ACOPLADO INDUCTIVAMENTE (ICP)
Metales traza.	ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA CON HORNO DE GRAFITO (GFAAS)
H ⁺ , Cl ⁻ , NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺ , Na ⁺ , K ⁺ y algunos Metales traza.	ELECTRODOS SELECTIVOS DE IONES (ISE)
Metales traza.	VOLTAMETRÍA

Tabla 8

PARÁMETROS O ANALITOS DE INTERÉS MEDIOAMBIENTAL VS TÉCNICAS ANALÍTICAS	
AIRE	
PARÁMETROS O ANALITOS / (PREPARACIÓN)	TÉCNICAS USUALES
SO ₂ / (SULFITO MERCURIATO, COMPLEJO)	ESPECTROFOTOMETRÍA MOLECULAR (VISIBLE)
NO ₂ / (ABSORCIÓN EN ARSENITO Y DETERMINAR NO ₂)	
O ₃ / (ABSORCIÓN EN KI Y DETERMINACIÓN DE I ₂)	
NH ₃ / (EN SULFÚRICO CON FENOL-HIPOCLORITO DETERMINAR AZUL DE INDOFENOL)	
NH ₄ ⁺ / (MATERIA FILTRADA: DISUELTA EN AGUA-OH)	CROMATOGRAFÍA IÓNICA
HCl / (ABSORCIÓN EN NaOH Y DETERMINAR Cl ⁻)	
Cl ⁻ , NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻ / (MATERIA FILTRADA: DISUELTA EN AGUA-OH)	ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA (AAS)
METALES PESADOS / (FILTRACIÓN, DILUCIÓN EN HNO ₃ DE LA MATERIA SUSPENDIDA)	
Na ⁺ , K ⁺ / (MATERIA FILTRADA: DISUELTA EN AGUA)	
Mg ²⁺ , Ca ²⁺ / (MATERIA FILTRADA: DISUELTA EN AGUA-OH)	

Tabla 9

Clasificación de algunos contaminantes en función de su bioacumulación y toxicidad frente a las técnicas analíticas más utilizadas para su estudio	
INORGÁNICOS	
ANALITOS	TÉCNICAS USUALES
As, Cd, Cr (VI), Hg, Pb, Se (acción tóxica y acumulable)	- Espectrometría de Absorción Atómica (llama u horno de grafito) - Espectrofotometría VIS-UV (complejación y extracción)
Be, Ni, V, Sb, CN ⁻ (Contaminantes de acción tóxica retenidos, pero no acumulables en los sistemas acuáticos)	- Espectrometría de Emisión (usual ICP óptico) - Voltametría (usualmente de redisolución anódica)
As, Sb, Pb, Se, Sn	- Espectrofotometría de absorción atómica con cámara de hidruros
Iones metálicos	- H.P.L.C. y Cromatografía iónica
Mayoría de elementos del SP	- Plásmas de acoplamiento inducido-espectrometría de masas (ICP-MS)
ORGÁNICOS	
ANALITOS	TÉCNICAS USUALES
Plaguicidas y análogos Insecticidas Herbicidas Fungicidas Fertilizantes, PCB Hidrocarburos Aromáticos po- licondensados Hormonas de insectos, Tensioactivos Fenoles	- Cromatografía de Gases (C. G.); uso de diferentes tipos de detectores (electroanalíticos, fotométricos, ionización,...) - Cromatografía de líquidos de alta resolución (H.P.L.C.); uso de diversos tipos de detectores (espectrofotométricos, electroanalíticos.) - C. G.-MS - Espectrofluorimetría

Para finalizar esta breve exposición, debe indicarse que muchas de las técnicas expuestas pueden automatizarse e incluso robotizarse, con el fin de aumentar la frecuencia del muestreo, procesar un gran número de muestras y, por consiguiente, generar muchos datos y optimizar el tiempo de su tratamiento o procesado. En este sentido, se realizan controles en línea y controles remotos de contaminantes medioambientales que ayudan a establecer en tiempo real la existencia de contaminantes que pueden producir efectos de bioacumulación o toxicidad en áreas de acusada sensibilidad. Además, el avance de las técnicas de separación y/o determinación están impulsando los estudios de especiación, fundamentales en el avance de la toxicología, biología, medicina, etc. , que repercuten en la calidad de los estudios medioambientales.

Bibliografía recomendada

- “Técnicas analíticas de contaminantes químicos”. M.A. Sogorb y E. Vilanova. Ed. Díaz de Santos. (2004).
- “Análisis químico cuantitativo”. D.C. Harris. Ed. Reverté. (2007).
- “Análisis Instrumental”. K.A. Rubinson y J.F. Rubinson. Ed. Pearson Educ. Madrid. (2001). Traducido de “Contemporary Instrumental Analysis”. Prentice-Hall. (2000).
- “Toma y tratamiento de muestras”. C. Cámara (editora). Ed. Síntesis. (2002).
- “A Biologist’s Guide to Principles and Techniques of Practical Biochemistry”. Edited by K. Wilson and K. H. Goulding. New York. (1991).
- Practical Environmental Analysis. M. Radojević, V.N. Bashkin. The Royal Society of Chemistry. (1999).