

MINISTERIO DE  
**educación**

ESTADO PLURINACIONAL DE BOLIVIA 

VICEMINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR DE FORMACIÓN PROFESIONAL  
VICEMINISTERIO DE EDUCACIÓN REGULAR

**PROGRAMA DE FORMACIÓN COMPLEMENTARIA  
PARA MAESTRAS Y MAESTROS EN EJERCICIO**

**PROFOCOM**



*Unidad de Formación No. 11*

# **Física - Química**

## **La física-química fisiológica en la salud comunitaria**

(Educación Regular)

Documento de Trabajo





© De la presente edición:

**Colección:**

CUADERNOS DE FORMACIÓN COMPLEMENTARIA

**Unidad de Formación No. 11**

Física - Química

La física-química fisiológica en la salud comunitaria

Documento de Trabajo - Segunda Edición

**Coordinación:**

Viceministerio de Educación Superior de Formación Profesional

Viceministerio de Educación Regular

Dirección General de Formación de Maestros

Instituto de Investigaciones Pedagógicas Plurinacional

Unidad de Políticas Intraculturales, Interculturales y Plurilingüe

**Redacción y Dirección:**

Equipo PROFOCOM

**Cómo citar este documento:**

Ministerio de Educación (2016). *Unidad de Formación Nro. 11 "Física Química - La física-química fisiológica en la salud comunitaria"*. Cuadernos de Formación Continua. Equipo PROFOCOM. La Paz, Bolivia.

**LA VENTA DE ESTE DOCUMENTO ESTÁ PROHIBIDA**

Denuncie al vendedor a la Dirección General de Formación de Maestros, Telf. 2912840 - 2912841



## Introducción



**E**n la Unidad de Formación N° 11 continuamos trabajando aspectos concretos que orientan el sentido de la implementación de los elementos curriculares del Modelo Educativo Sociocomunitario Productivo; En ese sentido, dando continuidad a la Unidad de Formación N° 10, el material propuesto será trabajado desde las áreas de saberes y conocimientos.

En la presente Unidad de Formación se propone desarrollar el proceso de **articulación** de las áreas de saberes y conocimientos, además de continuar con el proceso de profundización de los conocimientos de las respectivas áreas como parte del proceso de autoformación.

No obstante, debido a que en algunos lugares el proceso formativo del PROFOCOM ha adquirido ciertas características particulares, es necesario precisar que las actividades y/o tareas que se plantean en las diferentes Unidades de Formación del PROFOCOM en ningún caso deben significar la interrupción o alteración del normal desarrollo de las actividades curriculares en la Unidad Educativa ; al contrario, los temas que se abordan en cada Unidad de Formación deben adecuarse y fortalecer entre otros la aplicación de la metodología de enseñanza y aprendizaje y el desarrollo de las capacidades, cualidades y potencialidades de las y los estudiantes.

Para que esto ocurra requiere de las y los facilitadores un esfuerzo mayor y compromiso dirigido a orientar adecuadamente la aplicación y/o concreción de los elementos curriculares del Modelo Educativo Sociocomunitario Productivo, de manera que las y los participantes sientan realmente que el PROFOCOM les ayuda a mejorar y transformar su práctica educativa.

Los elementos que podemos destacar en la concreción del MESCP son:

- ◆ La articulación del **currículo** (contenidos, materiales, metodología, etc.) y la **realidad** (vocación y potencialidad productiva, problemas, necesidades, proyectos, aspiraciones, etc.); una forma de relacionar el currículo y la realidad es a través del **Proyecto Socioproductivo**.
- ◆ Otro elemento a destacar es la metodología **Práctica, Teoría Valoración y Producción**<sup>1</sup>; este tema –de manera específica– se ha abordado en la U.F. No. 4 y 5, sin embargo, es un elemento curricular fundamental del Modelo Educativo, por lo que en los procesos educativos (o las clases) deben desarrollarse aplicando estos “momentos metodológicos”, lo cual no es difícil, más bien ayuda a

1. Es importante recordar que estos “momentos metodológicos” están inexorablemente integrados; no son estancos separados; todo los momentos metodológicos están integrados o concebidos integradamente para desarrollar una visión holística en la educación (cf. U.F. No. 5).



que las y los estudiantes “aprendan” y se desarrollen comprendiendo, produciendo, valorando la utilidad de lo que se aprende.

- También destaca el trabajo y/o desarrollo de las dimensiones **Ser, Saber, Hacer y Decidir** orientado a la formación integral y holística de las y los estudiantes; no sólo se trata de que la y el estudiante memorice o repita contenidos, sino debe aprender y formarse integralmente en sus valores, sus conocimientos, uso o aplicación de sus aprendizajes, y educarse en una voluntad comunitaria con incidencia social.
- Otros como el **Sentido de los Campos** de Saberes y Conocimientos (Cosmos y Pensamiento, Comunidad y Sociedad, Vida Tierra Territorio y Ciencia Tecnología y Producción), los Ejes Articuladores (Educación en Valores Sociocomunitarios, Educación Intra-Intercultural Plurilingüe, Convivencia con la Madre Tierra y Salud Comunitaria y Educación para la Producción), los **Enfoques** (Descolonizador, Integral y Holístico, Comunitario y Productivo).

Entonces se trata que las y los facilitadores orienten en la concreción de estos elementos curriculares de la manera más adecuada y didáctica, con ejemplos y/o vivencias, aportes que pueden recuperarse de las y los mismos participantes.

Todas las actividades del PROFOCOM deben desarrollarse de acuerdo a estas orientaciones donde facilitadores y participantes aportemos a nuestro Modelo Educativo desde nuestras experiencias y vivencias.

En el Momento I de la Sesión Presencial, desarrollaremos el proceso metodológico de articulación de los saberes y conocimientos de las Áreas a través de un “acontecimiento” narrado y/o problemática de la realidad, el cual es problematizado a partir de los sentidos de los campos y el enfoque de las Áreas para vincular esa problemática con los procesos educativos que desarrollan las y los maestros. Esta parte de la Unidad de Formación muestra la importancia de la problematización y de las preguntas para promover un uso crítico de los contenidos que puedan abrirse a las exigencias de la realidad.

Es necesario aclarar que la utilización del “acontecimiento” como un elemento articulador obedece sólo a fines didácticos del proceso formativo del PROFOCOM, por tanto no es un nuevo elemento de la estructura curricular; En el desarrollo curricular de los niveles del Subsistema de Educación Regular, el elemento articulador predominante es el Proyecto Socioproductivo.

Para el Momento II, de construcción crítica y concreción educativa, en las actividades de autoformación trabajamos tres temas o contenidos formativos del Área o especialidad para su profundización. Los temas son abordados a partir de preguntas y están orientados a promover la reflexión crítica a partir de lecturas de textos propuestas para este fin<sup>2</sup>.

Al igual que en la Unidad de Formación 10, en esta parte, seguiremos trabajando la problematización de nuestras Áreas de Saberes y Conocimientos para perfilar los nuevos enfoques de Área que propone el Modelo Educativo Sociocomunitario Productivo para su abordaje.

Por último, la presente Unidad de Formación plantea las actividades de Formación Comunitaria y de Concreción Educativa, ambas dirigidas a fortalecer la transformación de la práctica educativa de maestras y maestros en función de la apropiación crítica de las propuestas de este material que ponemos a disposición.

2. Las lecturas de los textos propuestos deben ser abordados de manera crítica y problemática; no se trata de leer de manera pasiva, repetitiva o memorística; éstas deben generar el debate y discusión. No tienen la función de dar respuestas a las preguntas realizadas, sino, son un insumo o dispositivo para que maestras y maestros abran el debate y profundicen los temas del área abordados.



En las Sesiones de Construcción Crítica y Concreción Educativa (138 horas), se trabajará en las Comunidades de Producción y Transformación Educativa (CPTes) y en la Sesión Presencial de Socialización (4 horas), la actividad puede organizarse por Áreas de Saberes y Conocimientos o por las CPTes, según las necesidades para un adecuado desarrollo de la sesión.

Debemos tomar en cuenta que en los casos que una o un facilitador deba trabajar, además, con la Unidad de Formación de Inicial en Familia Comunitaria y Primaria Comunitaria Vocacional, es importante realizar una organización y proceso adecuado de manera que los tres niveles desarrollen adecuadamente esta Unidad de Formación.

## Objetivo Holístico

Profundizamos en los saberes y conocimientos del área problematizando y reflexionando la realidad mediante el desarrollo de procesos metodológicos de articulación e integración de contenidos a través de la práctica de actitudes de trabajo cooperativo y respeto mutuo, para desarrollar procesos educativos pertinentes vinculados a las demandas, necesidades y problemáticas de la realidad.

## Criterios de evaluación

### SABER

Profundizamos en los saberes y conocimientos del área problematizando y reflexionando la realidad.

- Comprensión de la importancia de la integración de saberes y conocimientos y de articulación del currículo con el Proyecto Socioproductivo.
- Apropiación crítica de los contenidos profundizados en cada área de saberes y conocimientos.

### HACER

Mediante el desarrollo de procesos metodológicos de articulación e integración de contenidos.

- Articulación de los elementos curriculares con el plan de acción del Proyecto Socioproductivo.
- Integración de los saberes y conocimientos de las Áreas al interior del Campo y entre Campo de Saberes y Conocimientos con el Proyecto Socioproductivo.

### SER

A través de la práctica de actitudes de trabajo cooperativo y respeto mutuo.

- Actitud comprometida en el trabajo al interior de las CPTes.
- Respeto por la opinión de la o el otro.

### DECIDIR

Para desarrollar procesos educativos pertinentes vinculados a las demandas, necesidades y problemáticas de la realidad.

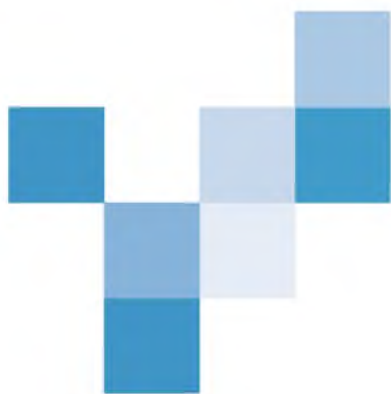
- Transformación de la práctica educativa en función de responder a la realidad de la comunidad.



## Uso de lenguas indígena originarias

El uso de la lengua originaria debe realizarse en los tres momentos del desarrollo de la Unidad de Formación. De acuerdo al contexto lingüístico, se realizarán conversaciones, preguntas, intercambios de opiniones, discusiones y otras acciones lingüísticas aplicando la lengua originaria.

Asimismo, esta experiencia desarrollada en los procesos de formación debe ser también desplegada por las y los maestros en el trabajo cotidiano en los espacios educativos en los que se desenvuelven.



## Momento 1

### Sesión presencial (8 horas)

Para iniciar la sesión presencial, la o el facilitador anuncia que en la sesión presencial de 8 horas se hará énfasis en el trabajo del proceso metodológico de la articulación de las Áreas de Saberes y Conocimientos, lo que involucra la participación activa de todas las áreas en el desarrollo de actividades comunes, por Campos y por Áreas.

#### PROCESO METODOLÓGICO DE LA ARTICULACIÓN DE LAS ÁREAS

##### 1. Partir de la problematización de la realidad desde el sentido de los Campos y el enfoque de las Áreas

Uno de los criterios centrales del Modelo Educativo Sociocomunitario Productivo es vincular a la educación con la realidad; es decir, vincular la educación a los procesos histórico políticos de nuestras comunidades, pueblos, barrios, ciudades y el país en su conjunto; de esta manera, se busca partir de nuestros problemas/necesidades/potencialidades para que el desarrollo de los procesos educativos pueda convertirse en un mecanismo que coadyuve a transformar nuestra realidad.

En este sentido, el elemento central para la articulación de las Áreas de Saberes y Conocimientos son justamente nuestros problemas/necesidades/potencialidades, ya que esta realidad atraviesa a todas las Áreas sin distinción. Dentro del Currículo Base, el Proyecto Socioproductivo cumple el rol articulador de las Áreas en el desarrollo de los procesos educativos, ya que representa aquel problema/necesidad/potencialidad de nuestro contexto que vamos a priorizar para transformar. Por tanto, las y los maestros desarrollarán los procesos de articulación en sus Unidades Educativas a través del mismo.

La problematización nos vincula con la realidad de un modo crítico, pues es una forma de cuestionar a la misma desde un determinado lugar y proyecto de sociedad, en nuestro caso, desde los sentidos de los Campos de Saberes y Conocimientos que expresan la direccionalidad política que plantea la estructura curricular. La problematización plantea preguntas y problemas irresueltos e inéditos que nos involucran en su desarrollo y resolución, es decir, permite abrir espacios para la transformación de la realidad; por tanto, no está dirigida sólo a explicar y/o describir fenómenos u objetos ajenos a nosotros.

Bajo este contexto, la problematización de un “acontecimiento” de la realidad para trabajar la articulación de las Áreas de Saberes y Conocimientos se refiere a plantear preguntas sobre un determinado hecho para cuestionarlo críticamente desde los criterios que plantean los Sentidos de los Campos y/o el Enfoque de las Áreas, y de esta forma vislumbrar las formas en las que podemos vincular las problemáticas de la realidad con los procesos educativos.

Es importante aclarar que por temas didácticos el proceso metodológico de la articulación de las Áreas, que desarrollaremos en la sesión presencial, se realizará a partir de la narración de un “acontecimiento” o problema de la realidad; éste, entonces, será el punto de partida para realizar el proceso metodológico de la articulación de las Áreas.

No hay que confundir, entonces, a la narración del “acontecimiento” o problema de la realidad con la que iniciamos este ejercicio de articulación de las Áreas, como un “nuevo” elemento dentro de la estructura curricular. Como se ha aclarado, simplemente es un recurso que usamos con fines didácticos en el proceso de formación en el PROFOCOM.



## Actividad 1

Organizados en grupos por Campos de Saberes y Conocimientos realizamos la lectura crítica y minuciosa de la narración del “acontecimiento”<sup>3</sup> o problema de la realidad propuesto en la Unidad de Formación.

“Acontecimiento”

### HISTORIAS DE AMOR, VIOLENCIA Y FEMINICIDIO EN BOLIVIA<sup>4</sup>

Mi nombre es Lis, soy una mujer que se casó muy joven, como todas las mujeres de mi comunidad, y ya tengo un niño muy pequeño... siempre pensé que mi vida iba ser feliz cuando me casara y más feliz sería cuando tengamos un niño varón, pues las mujeres solo vienen a sufrir a este mundo, era algo que me decía mi mamá siempre, pero la verdad es que nunca me imaginé que tendría en mi vida hechos de violencia contra mí y mi pequeño hijo.

La realidad me mostró que la crueldad existe y se desquita contra la mujer que parió, la mujer pobre, la mujer campesina, y esto lo digo porque fuimos sometidos por un grupo de malas personas que hasta la fecha son favorecidas por la retardación de justicia y amparadas por administradores de justicia que sólo favorecieron a los culpables, al eximirlos de toda culpa y toda pena, y poniendo sobre mis hombros todo el dolor y toda la pena.

Yo vengo de una ciudad llamada Tupiza, en la provincia Sud Chichas, de Potosí; allí es donde mi pareja me golpeaba y mi comunidad me culpaba por dejarlo y denunciarlo, y mi familia y mis amigos se alejaron de mí por denunciar a mi marido y por pedir que ya no me pegue más, y fue allí donde todos me conocían en donde no encontraba soluciones o personas que me ayuden. Por eso me fui a la capital, a La Paz, creyendo que por tener un lindo nombre esa ciudad, allí encontraría tranquilidad y apoyo, pero fue en vano, sólo encontré más soledad e injusticia.

Allí había personas que solo escuchaban lo que decía, pero no me ayudaban en nada, solo me hacían revivir una y otra vez la pena, el recuerdo amargo, la injusticia que duele y sangra cada vez que vuelvo a contar mi historia a los llamados expertos en la justicia, expertos en ayudar a la víctima, pero que lo único que hacían era abrir más la herida.

Desde la mujer forense que me trató muy mal y me hizo sentir culpable, pues ella me retaba y me hacía llorar más de lo que yo ya lloraba, después fui a muchos lugares que sólo me hacían repetir una y mil veces la misma historia, la misma desgracia, el mismo sufrimiento y sólo lo hacían para no leer el expediente.

Ellos sólo me prometían cosas que después no cumplían. Lo que sí me pedían era que fuera a muchos lugares, que llenare muchos papeles, que pague muchos certificados y que cuente de nuevo mi historia, mi dolor, pero de tanto repetirlo ya no quería hablar, pues era otro golpe a mi vientre que a nadie le daba pena, y que nadie me daba consuelo.

A veces camino sola por la calle mucho tiempo, sin destino, matando solo el tiempo, y pensando en cómo matarme; para colmo, no tengo lugar seguro para quedarme, pues en donde me alojo no piensan

<sup>3</sup> Este primer paso para la articulación de las áreas en la Unidades Educativas se desarrollará a partir de una lectura crítica del problema, necesidad o potencialidad de nuestra comunidad definido para el Proyecto Socioproductivo.

<sup>4</sup> Testimonio extraído de *Historias de amor, violencia y femicidio en Bolivia* en: [www.pueblos-origenarios.com.ar](http://www.pueblos-origenarios.com.ar) (visitado a 19:40 del 11 de febrero de 2014) Para mayor profundidad referirse al texto original.







que tengo un hijo, solo quieren que pague el alquiler, y si no tengo para pagarle me echan, y no tengo trabajo estable, pues cada audiencia, que después se pospone, cada examen, cada solicitud que debo buscar, lo hago yo personalmente, y debo salir muy temprano o faltar al trabajo y así no hay trabajo que dure, pues a nadie le importa los problemas ajenos, y nadie le interesa en darme ayuda, y los refugios de mujeres golpeadas están llenos y no puedes estar mucho tiempo adentro; tampoco es fácil que reciban a mujeres de otras ciudades.

Lo cierto es que siempre tienen excusa para no ayudarte, lo cierto es que siempre termino sola, y sin soluciones.

Y todos los que te dicen que te van ayudar, todavía espero su ayuda después de un año; para colmo, todavía mi pareja me llama para amenazarme, y todavía no puedo volver a la casa de mis padres, pues me culpan de que yo soy la culpable de que mi marido se enoje conmigo.

A veces cuando veo mucha gente concentrada, pienso si les contara mi historia, si les gritara mi desgracia a algunos de ellos, que charlan, festejan, bailan, se emborrachan y pelean, algunas de esas personas me escucharían, realmente me escucharían.

Creo que no... a fin de cuentas la vida tiene tantos riesgos que me da lo mismo...

---

## Actividad 2

### Problematización del “acontecimiento” o problema de la realidad desde el Sentido de los Campos de Saberes y Conocimientos.

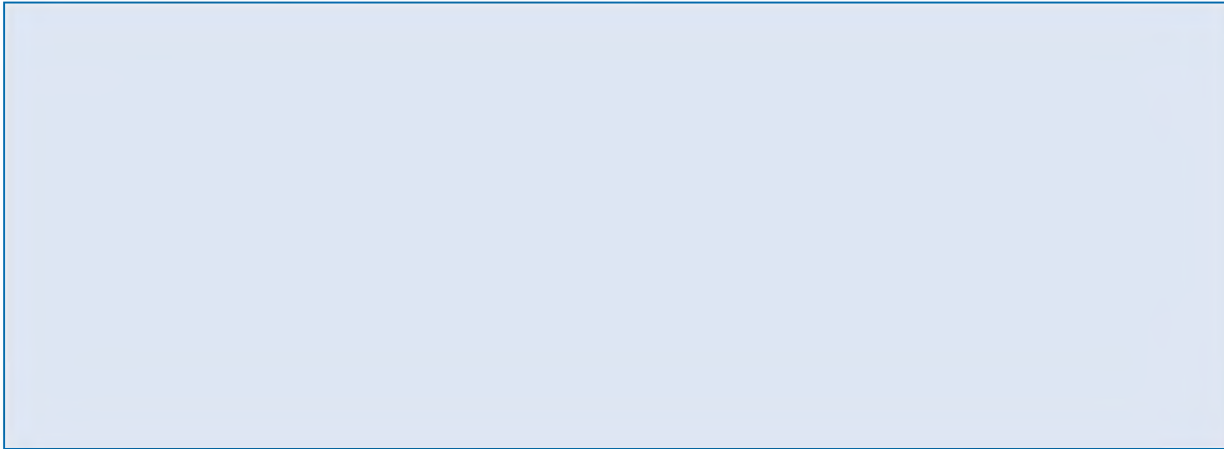
Reunidos en grupos de Campos de Saberes y Conocimientos, dialogamos y reflexionamos sobre cómo desde nuestro Campo de Saberes y Conocimientos podemos abordar las problemáticas de la realidad que hemos encontrado en la narración del “acontecimiento”.

Para realizar esta actividad podemos guiarnos por las siguientes preguntas:

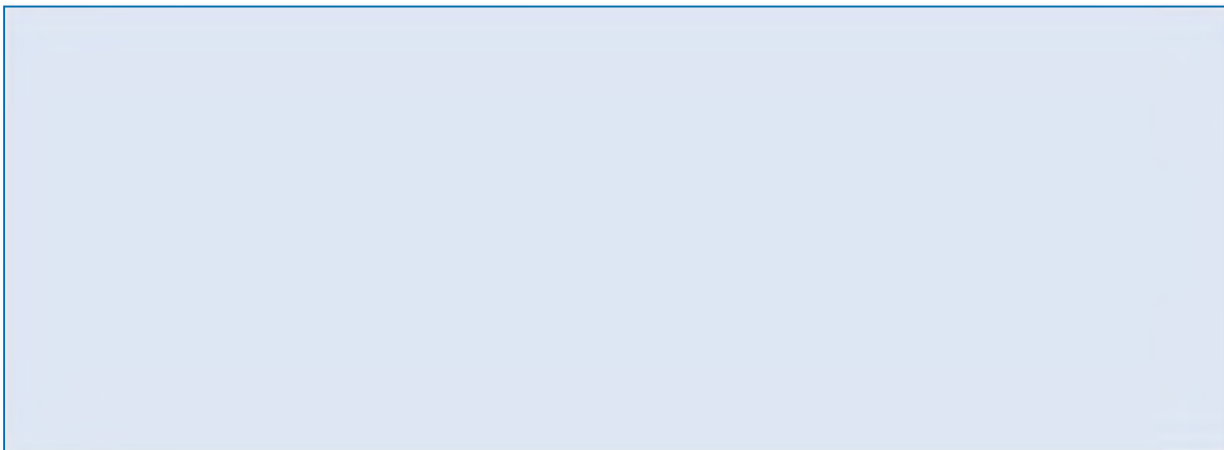
1. ¿De qué manera nuestro Campo de Saberes y Conocimientos está vinculado con la “problemática” descrita?



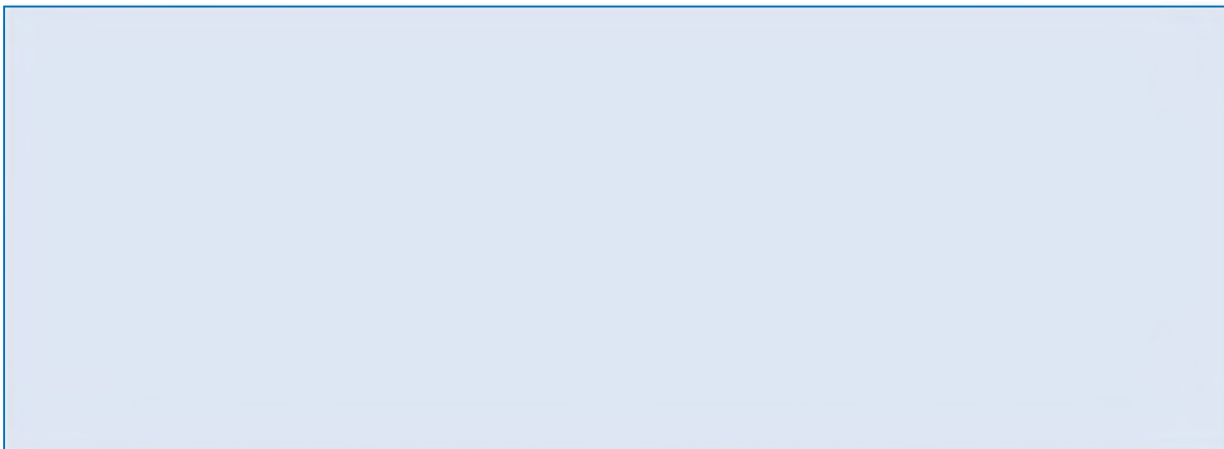
2. ¿De qué manera desde el Campo Vida Tierra Territorio se coadyuva en la construcción de una cultura con igualdad, despatriarcalizada y de respeto mutuo en la sociedad actual?



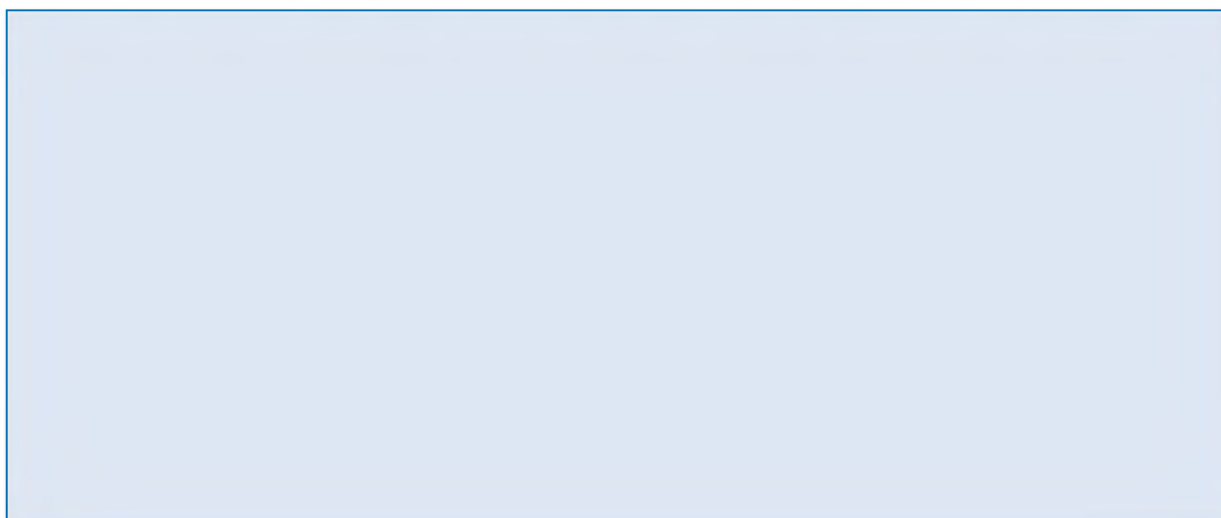
3. ¿Cómo desde la práctica de los saberes y conocimientos de las NPIOs se puede transformar una sociedad con alto grado de violencia en una comunidad con principios y valores sociocomunitarios?



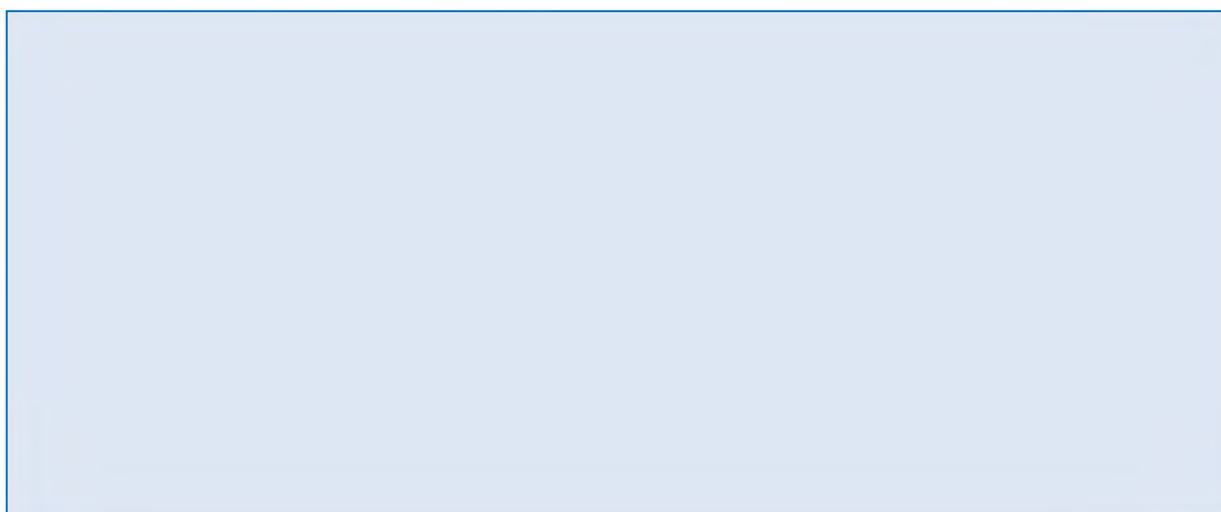
4. ¿Cómo la violencia generada por los seres humanos también afecta a otros seres que tienen otra forma de vida?



5. ¿De qué manera se expresan las diferentes formas de violencia hacia la mujer en mi comunidad?



6. ¿Cómo transformamos las problemáticas descritas en el “acontecimiento” desde el Sentido de nuestro Campo?



Después del análisis y reflexión realizados, anotamos las ideas o conceptos relevantes para ser compartidos en plenaria.

### Actividad 3

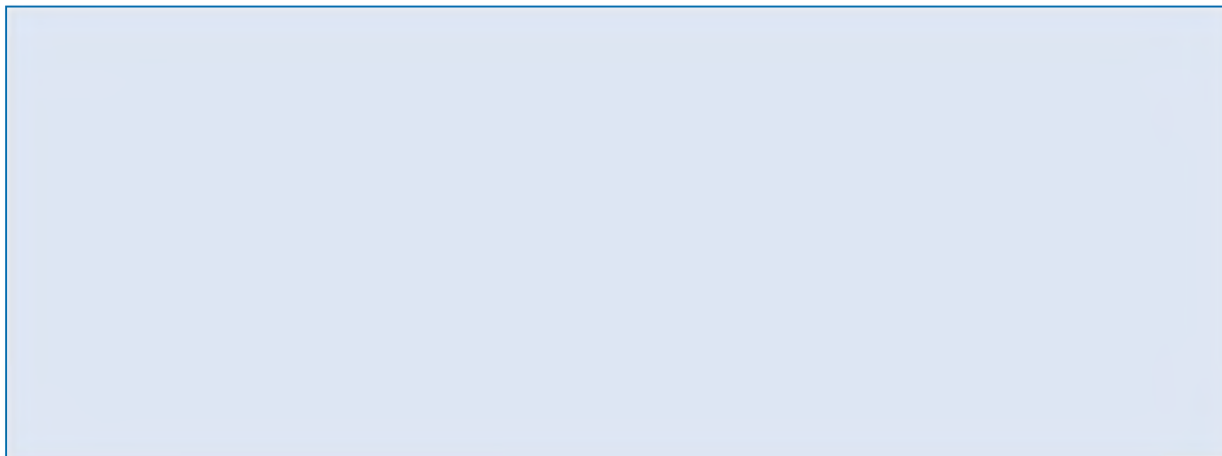
**Problematización del “acontecimiento” o problema de la realidad tomando en cuenta la naturaleza, las características y el enfoque de cada Área.**

Dando continuidad a la reflexión realizada en la anterior actividad y reunidos por Áreas de Saberes y Conocimientos, dialogamos y reflexionamos sobre cómo desde nuestra Área de Saberes y Conocimientos podemos abordar las problemáticas de la realidad que hemos encontrado en la narración del “acontecimiento”.

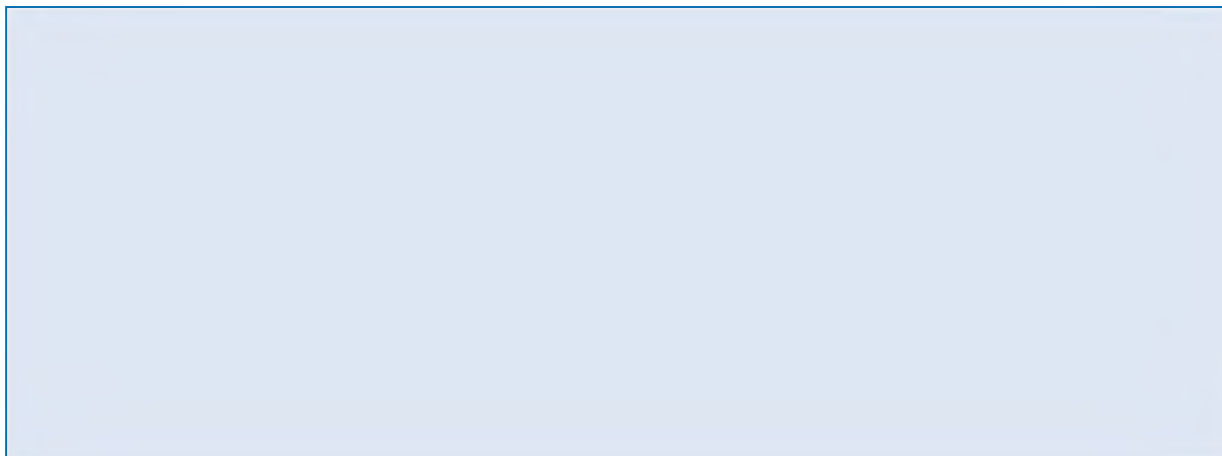
Para realizar esta actividad podemos guiarnos por las siguientes preguntas:



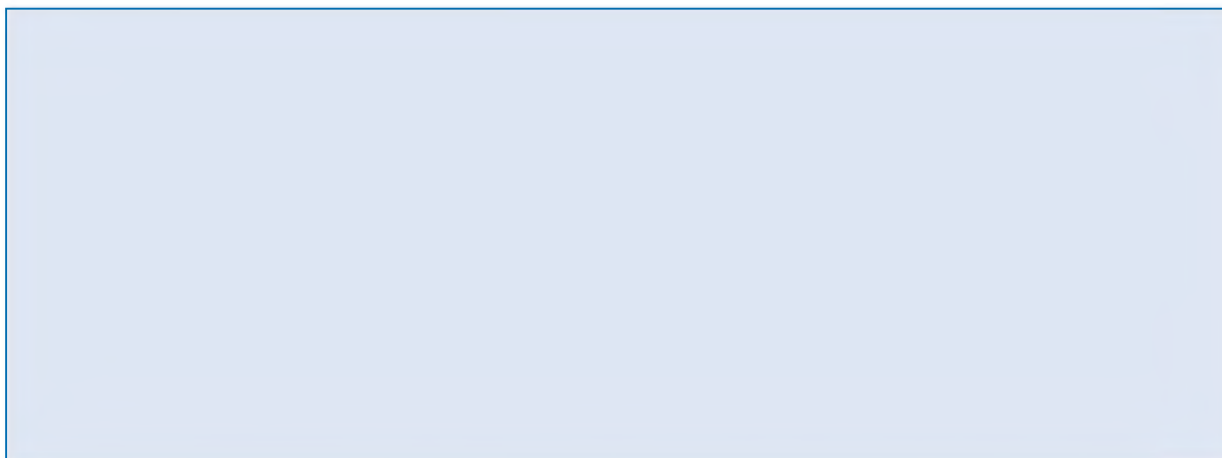
1. ¿De qué manera el Área Vida Tierra Territorio está vinculado a la problemática descrita en el “acontecimiento”?



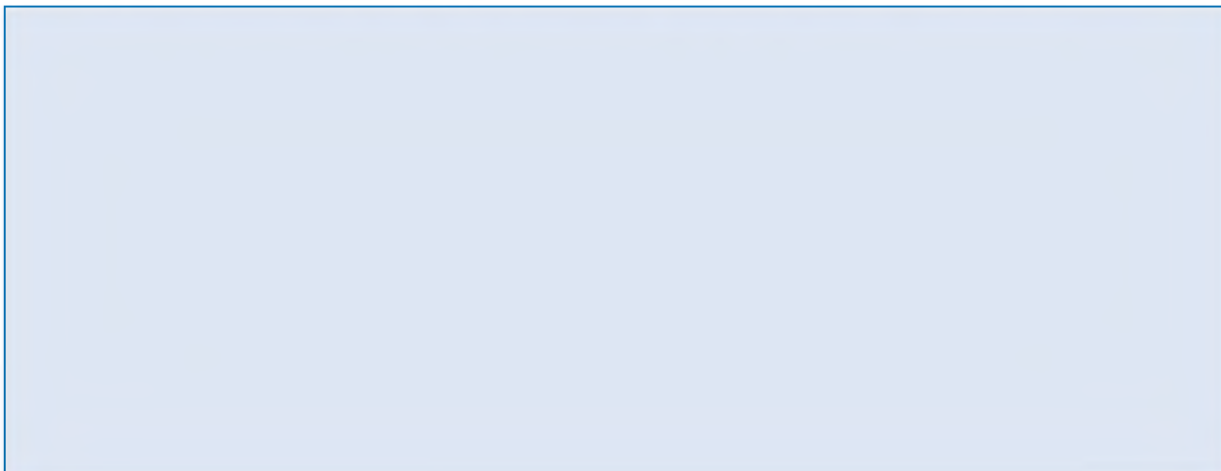
2. ¿Cómo desarrollamos contenidos de Física-Química a partir del relato del “acontecimiento”?



3. ¿Qué saberes y conocimientos físico-químicos debe poseer un profesional de salud y/o un médico forense para evaluar el estado de salud de una persona que ha sufrido violencia corporal?



4. ¿Qué principios Físico-Químicos se aplican en el funcionamiento de los equipos biomédicos que permiten evaluar el estado de salud de un paciente? Ejemplo: Tomógrafo, Rayos X y otros.



Después del análisis y reflexión realizados, anotamos los elementos más relevantes para ser compartidos en plenaria.

#### **Actividad 4 (1ra. Plenaria)**

Con la necesidad de tener conocimiento sobre la manera en que cada Campo de Saberes y Conocimientos interpreta la problemática planteada en la narración del “acontecimiento” y para tener una visión global de cómo se está asumiendo la misma desde las Áreas de Saberes y Conocimientos, desarrollamos una plenaria donde se exponga los resultados de la reflexión desde:

- a) Las conclusiones y/o aportes de cada Campo.
- b) Las conclusiones y/o aportes de cada Área de saberes y conocimientos que estén presentes.

Para realizar esta actividad se deberá delegar portavoces por Campos y Áreas, quienes deberán ser sintéticos en la exposición que realicen.

La plenaria podrá plantear ajustes y la profundización de la reflexión en los Campos y Áreas que lo requieran.

#### **Articulación de Contenidos de los Programas de Estudio en función del acontecimiento y/o problemática de la realidad**

La reflexión y problematización generada en los anteriores puntos debe permitirnos delinear criterios comunes para todas las Áreas y darle sentido y orientación crítica a nuestra planificación curricular y práctica educativa<sup>5</sup>. Esta problematización debe ayudarnos a una selección y articulación de contenidos (desde cada Campo y Área) acorde a la problemática y/o realidad de nuestro contexto educativo.

La definición del sentido de nuestra planificación curricular nos permitirá articular de manera más pertinente la selección de nuestros contenidos (para no caer en respuestas mecánicas, a la hora de definirlos).

<sup>5</sup> Que sería el momento de reflexión política, ya que en éste se plantea la manera en cómo encaramos las problemáticas de la realidad desde los sentidos que orientan a los Campos de Saberes y Conocimientos y el enfoque de las Áreas. Aquí no se trata solamente de un uso meramente temático de un problema para transversalizarlo en las Áreas, sino se trata de plantear la transformación de los problemas de la realidad desde una orientación política de construcción de la realidad.



## Actividad 5

Tomando en cuenta la reflexión generada a partir de las actividades anteriores, se seleccionan los contenidos por años de escolaridad de los programas de estudio del área de saberes y conocimientos Ciencias Naturales, Física-Química en función y relación a la situación de la realidad planteada en la lectura inicial.

A continuación se presenta un ejemplo de articulación de contenidos de cada área del Campo en función del acontecimiento, para el 6° año de escolaridad, de acuerdo a los siguientes criterios:

- Contenidos afines al acontecimiento.
- Que sean tomados de los programas de estudio del currículo base y/o regionalizados.
- Interrelación de los contenidos de las áreas del Campo.

ÁREA CIENCIAS NATURALES		
AÑO DE ESCOLARIDAD: SEXTO SECUNDARIA - PRIMERA FASE - SEGUNDO BIMESTRE		
Ciencias Naturales	Biología - Geografía	Física - Química
Contenidos de Planes y Programas (Currículo Base y Regionalizado)	<p>APARATOS, SISTEMAS Y ELEMENTOS QUE PRESERVAN LA VIDA DE LOS SERES EN LA NATURALEZA</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Anatomofisiología de los aparatos reproductores de los seres.</li> <li>• Reproducción humana.</li> <li>• Reproducción animal.</li> <li>• Reproducción vegetal.</li> <li>• Reproducción en los seres unicelulares.</li> <li>• La genética: establecedora de los biotipos naturales.</li> <li>• Mutaciones en los seres.</li> <li>• Ingeniería genética.</li> </ul>	<p>BALANCE ENTRE ÁCIDOS Y BASES EN LA VIDA</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El equilibrio de las reacciones químicas utilizadas en la alimentación responsable sociocomunitaria.</li> <li>• Electrolitos fuertes y débiles presentes en la vida cotidiana.</li> <li>• El pH y proceso de valoración ácido-base en los seres del Cosmos.</li> <li>• Uso controlado de sustancias y productos para el equilibrio químico en el medio socioambiental.</li> </ul>
	<p>CAPACIDADES INMUNITARIAS DE LOS SERES PARA EL CUIDADO DE LA VIDA</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistemas inmunitarios presentes en los seres.</li> <li>• Morfología y función de las células que actúan en defensa del organismo del ser.</li> <li>• Medicina natural y convencional, su incidencia en los sistemas inmunitarios de los seres.</li> </ul>	<p>LA DINÁMICA DE LOS LÍQUIDOS EN LA MADRE TIERRA</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Propiedades de los líquidos: densidad, viscosidad, tensión superficial y capilaridad.</li> <li>• La hidrodinámica e hidrostática en procesos socioproducidos.</li> <li>• La hidráulica y su utilidad en la actividad comunitaria.</li> </ul> <p>LOS FENÓMENOS ELÉCTRICOS COMO FUENTE DE ENERGÍA PARA LA VIDA</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fenomenología del campo eléctrico, magnético en la Madre Tierra y el Cosmos.</li> <li>• Conductores eléctricos, semiconductores, superconductores y aislantes en el uso cotidiano.</li> <li>• Potencial eléctrico y diferencia de potencial en las actividades sociocomunitarias.</li> <li>• Dispositivos electrónicos de almacenamiento de energía eléctrica y su aplicabilidad en la comunidad.</li> </ul> <p>TERMODINÁMICA Y TERMOQUÍMICA EN PROCESOS ENERGÉTICOS SUSTENTABLES</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Calor y trabajo en actividades socioeconómicas de explotación y extracción sustentable de recursos de la Madre Tierra.</li> <li>• Procesos Termodinámicos y ciclo de Carnot.</li> <li>• Sistemas de termorregulación utilizados en producción agropecuaria en las regiones.</li> </ul>



### Actividad 6

- Después de la selección de contenidos que se realiza para cada Área, se procede a su problematización a partir de los siguientes criterios:
- Se plantean preguntas para abrir el contenido en función del “acontecimiento” o problema de la realidad con el que estamos trabajando la articulación de las Áreas.
- Las preguntas problematizadoras expresarán toda la discusión realizada en las actividades anteriores, es decir, deberá expresar también el Sentido de cada Campo y Enfoque de las Áreas.
- Las preguntas problematizadoras plantean tareas nuevas/inéditas que posibilitan orientar las prácticas educativas para transformar una determinada realidad. No son preguntas cerradas, explicativas ni descriptivas; son preguntas que llevan a la acción.

Área de Saberes y Conocimientos	Contenidos seleccionado de los Programas de Estudio	“Acontecimiento” o problema de la realidad	Problematización del contenido en función del problema de la realidad
Física - Química			

Llegados a este punto, nos encontramos con preguntas que serán la base para la concreción educativa. Como hemos visto en la actividad anterior, las preguntas son la forma en que los contenidos adquieren pertinencia para desarrollar los procesos educativos en función de los problemas de la realidad.

Esto no implica que lo que sabemos sobre el contenido se niega o se deja de lado. El conocimiento acumulado de maestras y maestros sobre un contenido específico será el fundamento sobre el cual realizaremos cualquier adaptación o búsqueda de respuestas a preguntas inéditas producto de la problematización. De lo que se trata es de darle sentido a los contenidos; por tanto, no se trata de un desarrollo enciclopédico y temático de los mismos. Entonces, los contenidos trabajados a partir de la formulación de preguntas nos plantea buscar su resolución en el mismo proceso educativo, donde con la participación de las y los estudiantes, maestras y maestros y comunidad educativa producimos conocimiento al responder a las preguntas planteadas, lo que involucra transformar nuestra práctica en varios sentidos.

Partir de una pregunta en el quehacer educativo es partir sabiendo que como maestras y maestros no tenemos el “CONTROL” de todo el proceso educativo y sus resultados, es decir que, como la pregunta es inédita, nosotros como maestras y maestros al igual que las y los estudiantes no conocemos las respuestas *a priori* y tampoco las encontraremos en referencias bibliográficas o en Internet como un contenido definido. Partir de la pregunta nos lleva a arrojarnos a la búsqueda de respuestas, es decir que en el proceso educativo que promovemos también nos corresponde aprender. En un proceso de estas características también las relaciones establecidas con las y los estudiantes se reconfiguran, ya que como estamos partiendo de la realidad del contexto, es decir de los problemas/necesidades/potencialidades de la comunidad, barrio, ciudad, hay que tomar en cuenta que las y los estudiantes tienen saberes y conocimientos profundos de la realidad donde viven y, por tanto, a nosotras como maestras y maestros nos tocará también abrirnos a escuchar y aprender de las y los estudiantes, de la misma manera con madres, padres de familia y la comunidad en general.



Partir de preguntas de la realidad implica desarrollar procesos educativos “creativos”, es decir que es un proceso que involucra la producción de conocimiento y la producción de una nueva realidad, lo que implica superar una reproducción acrítica de los contenidos y perfilar su desarrollo pertinente y útil para la vida.

### Actividad 7

A partir de las preguntas que problematizan los contenidos, realizadas en la actividad anterior, planteamos orientaciones y/o actividades que posibiliten dar respuestas pertinentes y viables a las mismas.

Las orientaciones que se planteen deberán tomar en cuenta que este proceso de búsqueda de respuestas a las preguntas que estamos formulando, tendrán que ser resueltas con la participación de las y los estudiantes, y si fuera necesario/viable con la comunidad en un proceso educativo; por lo tanto, se deberá procurar proponer actividades que permitan trabajar los cuatro momentos metodológicos: Práctica, Teoría, Valoración y Producción.

A continuación elaboramos las orientaciones metodológicas que permitan lograr plantear respuestas pertinentes y viables a las preguntas formuladas en la anterior actividad:

Área de saberes y conocimientos	Contenido seleccionado de los Programas de Estudio	“Acontecimiento” o problema de la realidad	Problematización del contenido en función del problema de la realidad	Orientaciones Metodológicas que permitan lograr plantear respuestas pertinentes a las preguntas

### Actividad 8 (2da. plenaria)

Después de trabajar los puntos 2, 3 y 4, se expondrán los resultados, conclusiones y dudas de las actividades en plenaria.

### Lectura complementaria sugerida

Malgosa, Assumpció. 2012. Aplicaciones de técnicas físico-químicas en Antropología Forense. Cuaderno Médico Forense. Universidad de Sassari Italia. Publicada en Revista SciELO. En línea <http://scielo.isciii.es/pdf/cmfv18n1/special.pdf>

## Aplicaciones de técnicas físico-químicas en Antropología Forense

### Introducción

El estudio de los restos humanos quemados es de gran importancia en la arqueología, las ciencias forenses, la antropología forense y la investigación de la escena del crimen. En el campo de las ciencias forenses,





existe una gran variedad de situaciones que pueden conllevar la cremación de restos óseos, incluyendo los accidentes de aviación, los bombardeos, las explosiones y terremotos. También los homicidios, suicidios y muertes accidentales pueden implicar el uso de fuego con resultados variables sobre los restos humanos.

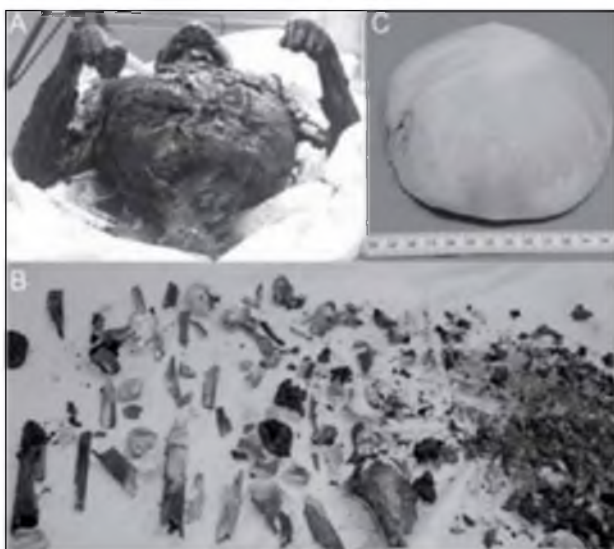
El fuego es un método común para tratar de ocultar la evidencia de la actividad criminal infligida sobre víctimas humanas. El fuego puede ser utilizado por el autor para: 1) destruir totalmente el cuerpo, 2) destruir las características que permiten la identificación de víctimas (rasgos faciales, huellas dactilares) o 3) destruir pruebas relacionadas con las circunstancias que rodean la muerte.

El deterioro o la desaparición de los tejidos blandos por el fuego dificulta notablemente o impide totalmente el análisis por otros especialistas (como los médicos forenses) y, por tanto, el análisis de los restos humanos quemados es una tarea comúnmente atribuida a los antropólogos forenses.

Por otro lado, también las muestras arqueológicas pueden presentar evidencias de incineración y su análisis proporciona datos relevantes para reconstruir el ritual funerario y, por tanto, para entender cuestiones trascendentales de las poblaciones del pasado.

Así pues, la comprensión de los cambios que el cuerpo ha sufrido como consecuencia de su exposición al fuego puede proporcionar información importante sobre el contexto y las condiciones del evento de cremación. Dicha información puede incluir la escena del crimen, la temperatura del fuego y la presencia de acelerantes. En este sentido, se dispone de información sobre la temperatura que alcanzan algunos combustibles al arder al aire libre: por ejemplo, la grasa animal a 800 °C-900°C, el queroseno a 990°C, la gasolina a 1.026°C, la madera a 1.027°C y el metanol a 1.200°C. Puesto que la cremación puede conducir a la fragmentación extrema del hueso, se requiere una especial atención durante el análisis de la escena. Los escenarios de incendios mortales suelen ser mucho más complejos, no sólo porque el cuerpo y los elementos de identificación son drásticamente modificados por el fuego, sino porque todo el entorno, todo el contexto, también se modifica en la misma manera, resultando en una coloración homogénea y en la mezcla de todos los materiales.

Idealmente, los antropólogos forenses deberían participar en la recuperación, ya que están capacitados para reconocer los restos humanos fragmentados. Aún así, puede ser un reto, incluso para antropólogos entrenados, el distinguir pequeños fragmentos de huesos quemados y dientes a partir de fragmentos carbonizados de materiales de construcción y otros.



Por otro lado, la capacidad de discriminar entre restos humanos quemados (cenizas) y polvo de otros materiales de apariencia similar puede ser de gran importancia en una variedad de situaciones. El incidente de Tri-State en Noble (Georgia, Estados Unidos) es el ejemplo más conocido. A principios de 2002, se descubrió que en lugar de realizar las incineraciones contratadas, el propietario de Tri-State enterraba los cuerpos alrededor de su propiedad,

*Cadáver que fue sometido a incineración afectando de forma parcial el cuerpo (A). La parte inferior fue reducida a cenizas (B), mientras que la calota craneal permaneció intacta (C) (fotos por cortesía del Dr. Ignasi Galtès).*



sin ningún tipo de ceremonia. Con el tiempo se recuperaron más de 330 cuerpos, mientras que las urnas que habían recibido muchas familias a menudo contenían polvo de cemento, sílice, piedra y otros materiales. La confusión fue enorme ya que la mayoría de los cuerpos recibidos antes de cierta fecha fueron realmente incinerados, y más tarde algunos cuerpos podrían haber sido enviados a otras instalaciones para una incineración apropiada. Cientos de familias no estaban seguros del contenido de las urnas en su poder. Así pues, incluso las cremaciones comerciales presentan problemas para el médico forense y las disputas sobre las cremaciones comerciales pueden desembocar en un litigio civil que puede implicar el análisis forense de los materiales recuperados.

El análisis de los restos resultantes de la cremación comercial incluye también la evaluación del número mínimo de individuos y de las posibles mezclas, así como la identificación. Frecuentemente, la recuperación y el análisis de inclusiones, tales como placas metálicas de identificación, restauraciones dentales y los materiales quirúrgicos, facilitan las identificaciones.

Por desgracia, el acto de quemar aunque no llegue a la incineración total provoca una serie de cambios sustanciales en el cuerpo y en el esqueleto, que a su vez puede afectar los intentos de proporcionar la identificación de los fallecidos. La investigación ha demostrado que tanto los métodos morfológicos y métricos de evaluación antropológica como los métodos de datación, elementos traza y análisis de isótopos estables, se ven afectados.

Tradicionalmente se ha utilizado la inspección visual de los restos para discriminar si los huesos han sido sometidos al fuego, y más allá de esto, asociaciones entre el color del hueso y el tipo de fractura con la temperatura del fuego, o con la presencia o ausencia de tejidos blandos en el momento de la exposición. Sin embargo, estas asociaciones son complejas, no totalmente biunívocas, y los vínculos espurios. Por ejemplo, en algunos casos de homicidio en los que el fuego fue usado para encubrir las pruebas, los cuerpos fueron sometidos a diversos grados de combustión (Figuras A y B); la observación del color de las diversas partes del esqueleto como única referencia podría haber proporcionado una información inexacta o incompleta en la que incluso se puede excluir la presencia de fuego en alguna parte del esqueleto (Figura C).

También se ha demostrado experimental y estadísticamente que los cambios más importantes en el hueso que pueden predecir el contexto de una cremación implican cambios en la microestructura ósea. Por ello, se ha argumentado que la mejor forma, y la más confiable, para abordar los problemas relacionados con la exposición al fuego es la utilización de métodos físico-químicos, posiblemente en combinación con otros tipos de métodos microscópicos, dedicando una atención especial a la fase mineral de la hidroxiapatita (HA), que es el principal componente inorgánico del esqueleto.

Las técnicas de difracción de rayos X (XRD) y la espectroscopia de infrarrojos (FT-IR) se pueden utilizar para distinguir los materiales óseos de otros tipos de materiales cuando el contexto forense no está claro, y para evaluar la estructura cristalina del hueso quemado, lo que, a su vez, se puede relacionar con la temperatura y la intensidad de la cremación.

### **Métodos químicos-físicos para el análisis de cremaciones**

La medida del índice de cristalinidad (IC) se ha utilizado para estudiar los cambios en la microestructura del hueso. El IC es una medida del orden existente dentro del cristal, de la deformación y la organización en el hueso. Cuando el hueso es fresco, la estructura química es poco cristalina, en parte como resultado de la sustitución de carbonatos por fosfatos, causando un desorden del cristal.



La cristalinidad no es uniforme en todo el esqueleto, y varía entre los diferentes tejidos mineralizados del cuerpo humano. También se ha demostrado que la edad afecta la cristalinidad, ya que a menor edad el hueso es menos cristalino que un hueso maduro.

Como resultado de la acción del calor sobre el hueso y su posterior cremación, la estructura cristalina de hueso se vuelve más ordenada y se caracteriza por cristales más grandes, con lo que aumenta el valor del IC. Por ello, el IC ha sido utilizado para estudiar el mineral óseo calentado en un gran número de contextos; diversos ejemplos incluyen el uso del índice de cristalinidad para determinar si el hueso fue quemado o no y para observar la existencia de diferencias en las prácticas funerarias.

El cálculo del IC se puede realizar tanto mediante la difracción de rayos X (DRX), como con la espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FTIR), aunque los cálculos específicos y los valores serán diferentes entre ambos.

### ***Difracción de rayos X (DRX)***

La espectrometría de Difracción de rayos X (DRX) es una de las herramientas analíticas más potentes para la identificación de sustancias cristalinas desconocidas. Tiene varias ventajas sobre otras técnicas analíticas para la identificación de los restos cremados ya que no es destructiva, requiere cantidades relativamente pequeñas de material (aproximadamente 0,5 gr), no se ve afectado por las variaciones elementales presentes en la bioapatita, y se puede utilizar para el cálculo semicuantitativo de los componentes de una mezcla, determinando así el nivel relativo de contaminación de una muestra.

El método se basa en el hecho de que todos los cristales están compuestos por planos regulares y repetitivos de átomos que forman un retículo. Cuando los rayos X coherentes se dirigen a un cristal, los rayos X interactúan con cada átomo en el cristal, excitando los electrones y haciéndolos vibrar con la frecuencia de la radiación incidente. Los electrones se convierten en fuentes secundarias de rayos X, re-irradiando esta energía en todas las direcciones en la misma longitud de onda del haz incidente, un fenómeno conocido como dispersión coherente. Estos rayos X difractados se pueden comparar con las ondas que viajan en todas direcciones y forman patrones de interferencia muy similares a las interferencias que se forman cuando se dejan caer dos piedras en el agua. Esta interferencia puede ser constructiva, formando olas mayores, o destructiva, anulando totalmente las olas. El patrón de interferencia creado depende de la distancia entre las capas atómicas, la composición química y el ángulo en que los rayos X difractan lejos de los átomos, por lo que indirectamente revela la estructura de los cristales.

En el espectrómetro de difracción de rayos X, el tubo de rayos X y el detector se hacen girar alrededor de la muestra. El espectro de difracción creado por interferencia constructiva es registrado por el detector del haz. La relación entre el ángulo en el que se producen los picos de difracción y la distancia entre los átomos de una red cristalina (distancia interplanar  $d$ ) se expresa por la ley de Bragg:  $n\lambda = 2d \sin\theta$ .

Por razones históricas, los difractogramas se expresan en grados dos theta ( $2\theta$ ). Los espectros de difracción se recogen en el rango angular de  $9^\circ$  a  $140^\circ$  en  $2\theta$  y se analizan con un software llamado MAUD (*Material Analysis Using Diffraction*), que permite corregir los datos para la función instrumental y evaluar cuantitativamente las fases mineralógicas presentes en los huesos junto con los parámetros reticulares y microestructurales. Se requieren de 12 a 24 horas para recoger un espectro.

Puesto que cada sustancia tiene una estructura cristalina única (fase cristalográfica), los ángulos de interferencia constructiva forman un patrón único. Al comparar las posiciones e intensidades de los picos



de difracción con una biblioteca de materiales cristalinos conocidos, se puede identificar la composición de las muestras de la fase desconocida, como si fuera la huella digital de la sustancia. Esto es cierto también para una mezcla de sustancias. En la práctica, la mezcla de 5-6 fases cristalográficas se pueden resolver con un grado de confianza aceptable.

En 1975 se demostró que las altas temperaturas que se consiguen con el tratamiento con fuego inducen un aumento de las dimensiones medias de los microcristales de la apatita, que se puede medir a partir del alargamiento/restricción de los picos de difracción.

A fin de afrontar la problemática relativa al estudio de restos humanos arqueológicos quemados o presuntamente quemados, en nuestro laboratorio efectuamos la calibración de una muestra de hueso que se utilizó como referencia. Para ello se simuló la exposición al fuego real en función de distintas temperaturas de tratamiento controlado (200-1100° C), tomando en consideración la dependencia del tiempo (0, 18 y 60 minutos).

En particular se analizó el comportamiento del hueso de referencia a determinadas temperaturas intermedias (650, 750, 775, 825, 850°C) a fin de monitorizar y explicar el doble régimen de crecimiento en los cristales de la hidroxiapatita en el que se aprecia un aumento súbito entorno a los 700°C, acercándose luego a un valor constante más alto, siguiendo un comportamiento sigmoidal con un tipo de función logística. Este intervalo de temperatura es importante porque durante esta transición el tamaño de los cristales de los huesos se altera a un grado estadísticamente significativo. Asimismo, se puede cuantificar la cinética del crecimiento de los cristales en relación a la temperatura y al tiempo de tratamiento, para disponer de un punto inmediato de referencia en la aplicación de la calibración de los restos presuntamente quemados. De esta forma, se puede no sólo determinar con más exactitud la temperatura alcanzada por los restos, sino que también es posible hacer una aproximación al tiempo de cremación.

Estos datos tienen sus limitaciones ya que debe tenerse en cuenta que se ha trabajado sobre hueso seco. A pesar de ello, Bohnert y colaboradores han observado que para la total incineración de un cuerpo a través de la cremación se precisan cerca de dos horas a una temperatura de 800°C, mientras que para la destrucción de las partes blandas son necesarios al menos 50 minutos. Así pues los tiempos de estudio programados en nuestro laboratorio son coherentes con una cremación real.

La Figura 2 muestra el espectro de difracción del hueso humano no quemado usado como referencia. Los puntos se refieren a los datos experimentales, mientras la línea continua es la aproximación (fit) conseguida con el método de Rietveld después del ajuste iterativo de los parámetros estructurales y microestructurales. Los picos de difracción de la hidroxiapatita resultan extremadamente alargados debido a la naturaleza nanocristalina del material óseo que comporta dimensiones medias de los cristales extremadamente reducidas y una elevada concentración de desorden reticular. Después de haber tenido en cuenta los efectos instrumentales, el método de Rietveld es capaz de distinguir y separar el alargamiento de los picos de difracción en términos de dimensiones medias de los cristales y de densidad del desorden reticular, expresadas en Angstroms ( $1 \text{ \AA} = 10^{-8} \text{ cm}$ ). En particular, la dimensión media de los cristales resulta ser de  $170 (\pm 5) \text{ \AA}$ .

Así pues estos valores pueden ser considerados representativos de un hueso no quemado.

Las temperaturas de 200 hasta a 600°C (0 minutos) muestran procesos de crecimiento de los cristales muy débiles. El calentamiento isocrono de la muestra (velocidad 20°C/min) seguida de un calentamiento isoterma a las temperaturas establecidas (18, 36 e 60 minutos) parece tener efectos limitantes sobre el



crecimiento de los cristales debido a una relativa estabilidad del sistema. Contrariamente, es evidente un efecto de crecimiento rápido de los cristales a temperaturas superiores a 700°C (60 min), ulteriormente distinguible en el intervalo de temperatura entre 750°C y 850°C, y observable en todos los tiempos en los que se ha actuado (0, 18, 36 y 60 min).

En lo concerniente a los huesos tratados a temperaturas mayores de 850°C y que han permanecido largamente en el horno, las dimensiones de los cristales son superiores a 1.500 Å aunque la determinación de su valor medio es bastante difícil ya que se sitúa en el límite instrumental de la técnica.

Para temperaturas superiores a 1.000°C, las dimensiones medias de los cristales parecen aproximarse a los valores máximos asintóticos siguiendo un proceso de crecimiento de tipo sigmoidal (Tabla 1).

**Tabla 1**  
*Tamaño medio de cristales de la fase mineral hidroxiapatita (1 Å = 10<sup>-8</sup> cm) (de Piga et al, 2009)*

Temperatura/°C	0 Minutos	18 Minutos	36 Minutos	60 Minutos
No quemado	170			
200	175	175	175	175
300	180	184	186	188
400	195	203	204	205
500	202	202	205	210
600	204	226	230	256
650	213	240	250	258
700	229	294	463	486
750	268	611	712	800
775	350	836	880	920
800	432	1030	1160	1200
825	732	1120	1140	1254
850	923	1380	1450	1500
900	1.351	>1.500 (1616)	>1.500 (1680)	>1.500 (2621)
1000	>1.551 (1569)	>1.500 (2195)	>1.500 (2600)	>1.500 (2950)

Fig. 2

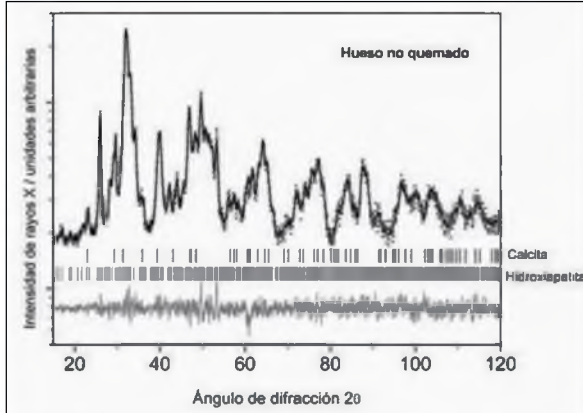


Figura 2.

Patrón de DRX de hueso humano no tratado usado como patrón de referencia. La línea con puntos muestra los datos experimentales, la línea continua es el ajuste de Rietveld en base a la estructura de la hidroxiapatita y la calcita. La línea inferior se refiere a los valores residuales; es decir la diferencia entre la raíz cuadrada de las intensidades calculadas y obtenidas, la cual es indicativa de la bondad de los resultados.

Fig. 3

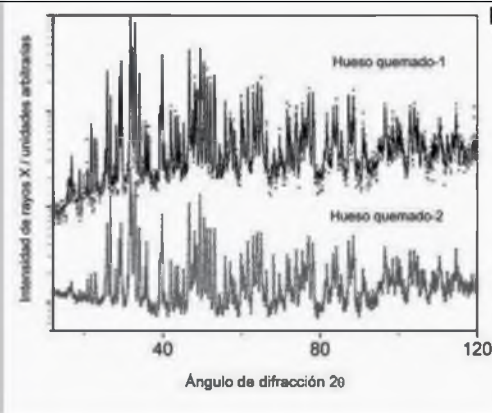


Figura 3.

Difractogramas de dos huesos tratados a elevadas temperaturas (1.000°C), en los que es evidente una considerable agudización y estrechamiento de los picos de rayos X.

Fig. 4

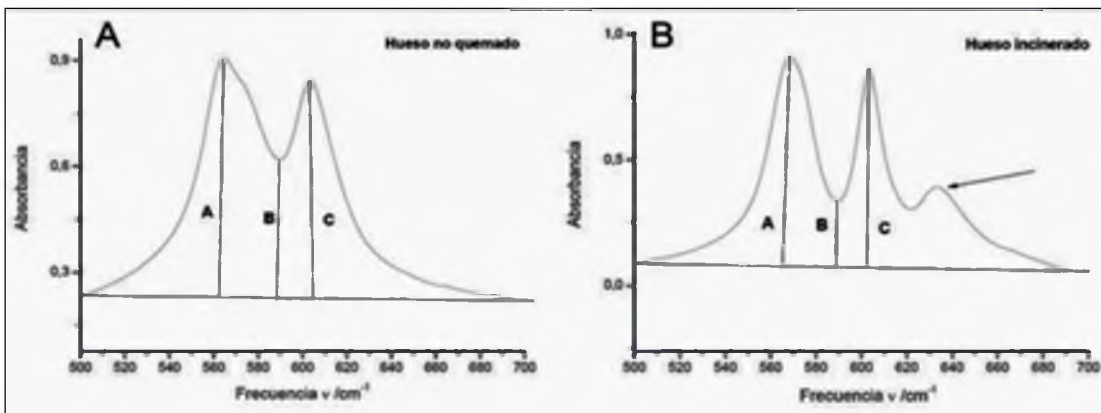


Figura 4a.

Espectro de FT-IR de un hueso no quemado, mostrado en la gama de 500-700  $\text{cm}^{-1}$ , correspondiente al grupo  $\text{PO}_4^{3-}$  característico de la hidroxiapatita. El factor de dimensiones SF se calcula numéricamente en este grupo de picos.

Figura 4b.

Espectro de la banda de los fosfatos de un hueso quemado. La anchura de las dos bandas en 565 y 605  $\text{cm}^{-1}$  disminuye a medida que aumenta la temperatura, con la aparición simultánea de un tercer pico a aproximadamente 630  $\text{cm}^{-1}$ .





En las dos muestras incineradas mostradas en la Figura 3 se puede observar la notable reducción de los picos de difracción, debido al notable crecimiento de los microcristales y a la reducción del desorden reticular inducido por el considerable tratamiento térmico (1000 °C) al que fueron sometidos.

### FTIR

Para apoyar e integrar los resultados obtenidos también se ha utilizado la técnica de espectroscopia de Infrarrojos por transformada de Fourier (FT-IR), un diagnóstico ampliamente utilizado en la química física que permite reconocer la presencia de grupos o especies moleculares característicos de las muestras sometidas a examen.

Contrariamente a la difracción de rayos X, esta medida tiene la ventaja de usar cantidades de muestra del orden de unos pocos miligramos (aproximadamente 0,003 gr) y requerir tiempos de adquisición del espectro muy cortos (aproximadamente 50 segundos). El espectro característico de los grupos moleculares está determinado por las frecuencias de absorción específicas de los movimientos de rotación, flexión o “estiramiento” (que consiste en la contracción y expansión de las distancias entre los átomos).

Con respecto al material óseo humano y animal, por lo general se analizan las características de la banda de fosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), detectables en la gama de frecuencias entre  $500\text{ cm}^{-1}$  y  $700\text{ cm}^{-1}$ .

Como puede verse en la Figura 4a, la banda de fosfatos en el material óseo no quemado está compuesto de al menos dos componentes, que son lo suficientemente grandes, pero que disminuyen a medida que aumenta la temperatura, con la consiguiente aparición de otro pico a aproximadamente  $630\text{ cm}^{-1}$  (Figura 4b). El estrechamiento de estos dos componentes se puede medir numéricamente con una buena precisión utilizando un índice de cristalinidad llamado *Splitting factor* SF (“factor de división”).

El índice de cristalinidad SF se calcula por  $(A + C) / B$ , donde A, B y C representan la distancia a la línea de base. Así pues, en la línea de base del espectro, se suman las alturas de las absorciones en aproximadamente  $605$  y  $565\text{ cm}^{-1}$  y se divide por la altura mínima entre ellos (en  $595\text{ cm}^{-1}$ ).

Esta fórmula fue propuesta por primera vez por Shemesh y Weiner y Bar-Yosef y ha sido habitualmente utilizado desde entonces.

Las longitudes de onda en  $565\text{ cm}^{-1}$  y  $605\text{ cm}^{-1}$  corresponden a las bandas de vibración de flexión de fosfatos y se incrementan con el aumento de la cristalinidad. La longitud de onda en  $595\text{ cm}^{-1}$  disminuye provocando así un aumento global en el valor de SF. Nótese que aunque el aumento de temperatura provoca un aumento del SF, la relación no es lineal sino que sigmoïdal.

Las bandas con mayor frecuencia indican la presencia de grupos carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) que proporcionan informaciones adicionales útiles de características químico-físicas sobre el hueso.

Una estimación del contenido de carbonato viene dada por la relación de la absorción del pico a  $1428\text{ cm}^{-1}$  ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) y del pico a  $1042\text{ cm}^{-1}$  ( $\text{PO}_4^{3-}$ ); se indica como C/P. El valor de este índice disminuye cuando aumenta la temperatura.

El uso combinado de ambas técnicas (DRX y FITR) constituye una poderosa herramienta para evaluar si los huesos se han sometido al fuego y a qué temperatura, con una gran fiabilidad.

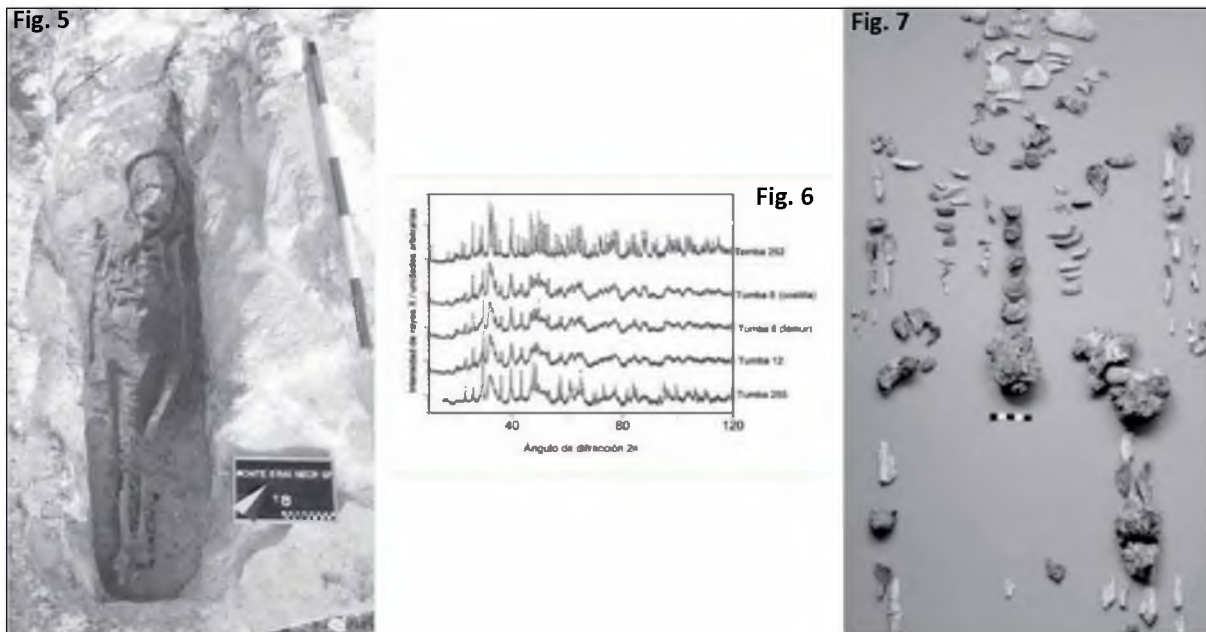


## Aplicaciones

Existen casos en los que un tratamiento térmico no es particularmente evidente, lo que comportaría quizás una línea errónea en la investigación de los hechos. Para ilustrar estos casos utilizamos el caso arqueológico de la necrópolis fenicia y púnica de Monte Sirai (Carbonia, Cerdeña-Italia) en la que la cremación se utilizó como rito funerario durante la época fenicia, mientras que la época púnica se caracteriza por la inhumación de los cadáveres.

Sin embargo, algunos esqueletos de época púnica mostraron algunas trazas oscuras sobre los huesos aunque el conjunto esquelético se presentaba completo y en posición anatómica (Figura 5). Los antecedentes de cremación en la población fenicia nos indujeron a realizar un análisis físico-químico sobre los restos.

Mientras el espectro DRX relativo al esqueleto de la Tumba 252 (Figura 6) muestra inequívocamente las características de una incineración -rito en uso por parte de la población fenicia hasta el siglo VI a.C., los datos relativos a los individuos de la tumba 8, 12 e 255 muestran también una exposición al fuego, aunque de menor intensidad. Este hecho está en principio en desacuerdo con lo que se podría esperar en el caso de tumbas púnicas, época posterior a la fenicia y cuyo rito generalizado es la inhumación. Los resultados obtenidos con ambas técnicas se muestran en la Tabla 2.



*Figura 5.*  
Restos esquelético de la tumba n.º 8 de época púnica del yacimiento sardo de Monte Sirai.

*Figura 6.*  
Patrones de los espectros de DRX de 5 muestras procedentes del yacimiento sardo de Monte Sirai.

*Figura 7.*  
Reconstrucción en el laboratorio del esqueleto procedente de la tumba 252 conservado de manera excepcional.





**Tabla 2**

*Tamaño de los microcristales de hidroxiapatita, SF y estimaciones de las temperaturas calculadas mediante las dos técnicas de espectrometría. Ambas técnicas ofrecen resultados concordantes*

Parte del cuerpo	Tamaño medio de los cristales/Å	Temperatura/DRX (Piga et al. 2009)/°C	Splitting Factor (SF)-FTIR	Temperatura/FTIR (Piga et al. 2010)/°C
Tumba 252	> 1500 (2297)	1000	6,18	<900
Tumba 8-1	251	≈ 650	4,20	695
Tumba 8-2	248	≈ 650	4,45	715
Tumba 12	220	600<T< 700	3,59	610
Tumba 255	205	400	3,27	520

**Tabla 3**

*Tamaño de los microcristales de hidroxiapatita, Splitting Factor y la estimación de las temperaturas calculadas con las dos técnicas de espectrometría. Ambas técnicas ofrecen resultados concordantes*

Parte del cuerpo	Tamaño medio de los cristales/Å	Temperatura/DRX (Piga et al. 2009)/°C	Splitting Factor (SF)-FTIR	Temperatura/FTIR (Piga et al. 2010)/°C
Cráneo	> 1500 (1520)	900<T<1000	7,32	1000
Mandíbula	> 1500 (2297)	1000	6,18	>900
Mandíbula (azul)	230	700	4,32	700<T<800
Costilla	> 1500 (2306)	1000	6,93	1000
Costilla (azul)	240	700	4,30	700<T<800
Vértebra 1	> 1500 (2200)	1000	6,66	Circa 900
Vértebra 2	> 1500 (1940)	1000	6,52	800<T<900
Vértebra 3	> 1500 (1900)	1000	7,21	1000
Vértebra 4	> 1500 (2248)	1000	8,08	1000
Vértebra 5	> 1500 (2303)	1000	6,91	1000
Cúbito derecho	> 1500 (2079)	1000	7,08	1000
Cúbito izquierdo	> 1500 (1724)	1000	6,67	900
Fémur derecho	> 1500 (2316)	1000	6,86	900
Fémur izquierdo	> 1500 (1418)	900<T<100	5,58	800<T<900
Tibia izquierda	> 1500 (1364)	900	6,08	<800
Tibia derecha	> 1500 (1412)	900	6,68	900

La Tabla 2 muestra en detalle los resultados obtenidos mediante las técnicas de difracción de rayos X / FT-IR, que muestran un acuerdo sustancial entre ellos. Las diferencias que no superan los 120° C no son tan importantes como afectar a la validez de las dos técnicas, teniendo en cuenta las diferencias en la base químico-física de las teorías elaboradas.

Del análisis de estos resultados, se puede evidenciar la posibilidad de que los ritos funerarios púnicos de inhumación del Monte Sirai fueran precedidos de una combustión parcial de los cuerpos que pretendería quizás eliminar de forma rápida las partes blandas. Con toda probabilidad el fuego se interrumpiría después de pocos minutos (18 minutos, máximo 36) y los cuerpos (normalmente 2 por tumba) aún íntegros eran depositados en posición primaria uno encima del otro. También podría interpretarse como una combustión superficial mediante la quema de materiales vegetales sobre el mismo cuerpo, lo cual estaría en consonancia con la posición primaria de los cuerpos y la mayor temperatura alcanzada en la parte superior del hueso.





***“Juntos Implementamos el Currículo  
e Impulsamos la Revolución Educativa”***

