



I Jornadas Internacionales sobre
**LA GEMOLOGÍA CIENTÍFICA EN
LA SOCIEDAD ACTUAL**

Zaragoza, 9, 10, 11 y 12 de Abril de 2008



GEMAS Y CIENCIAS

*La Gemología y su relación con las
Ciencias: una perspectiva histórica*

Dra. Dña. M^a Cinta Osácar Soriano

Dpto. Ciencias de la Tierra. Universidad de Zaragoza

Sumario:

1. INTRODUCCIÓN HISTÓRICA
2. ASPECTOS CIENTÍFICOS DE LAS GEMAS
 - 2.1. EXPLORACIÓN Y EXPLOTACIÓN
 - 2.2. PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS GEMAS
 - 2.3. DESARROLLO DE HERRAMIENTAS GEMOLÓGICAS y TÉCNICAS DE ANÁLISIS PARA SU IDENTIFICACIÓN
 - Antecedentes históricos*
 - Herramientas gemológicas y técnicas de análisis clásicas*
 - Nuevas técnicas*
 - 2.4. TRATAMIENTOS, IMITACIONES Y SÍNTESIS
 - Tratamientos*
 - Síntesis y simulantes*
 - Las perlas*
3. ÁMBITOS DE APLICACIÓN DE LA GEMOLOGÍA

1. INTRODUCCIÓN HISTÓRICA

Las gemas son muy antiguas en la historia de la Humanidad, ya que preceden a actividades como la escritura y la agricultura; ello, junto con su presencia en casi todas las culturas, da idea de la importancia que tienen en la sociedad humana, a pesar de su aparente falta de utilidad práctica.

Los primeros indicios de un material usado como gema corresponden a unos restos perforados de conchas de *Nassarius kraussianus*, de hace 100000 años, hallados en una cueva de Sudáfrica. De hecho, se admite que las primeras gemas son orgánicas: concha, hueso, marfil,... Posteriormente aparecen los minerales, primeramente los opacos coloreados: la turquesa fue utilizada como gema de importancia en el antiguo Egipto hace 4000 años, y el jade en China hace más de 5000 años; el jade también es gema en algunas culturas precolombinas de Mesoamérica.



Pieza de jade de un pectoral maya

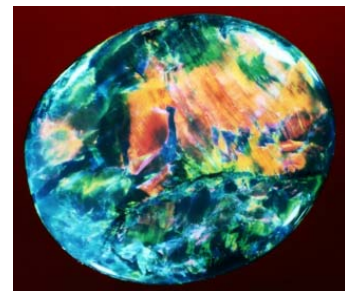
Dentro de nuestro ámbito cultural la importancia de las gemas se aprecia por su presencia en textos como la Biblia. Un ejemplo lo tenemos en la descripción del pectoral del efod del Sumo Sacerdote, en el libro del Éxodo:

*“Será cuadrado y doble, de un palmo de largo y otro de ancho. Lo llenarás de pedrería, poniendo cuatro filas de piedras: en la primera fila, un **SARDIO**, un **TOPACIO** y una **ESMERALDA**; en la segunda fila, un **RUBÍ**, un **ZAFIRO** y un **DIAMANTE**; en la tercera fila, un **ÓPALO**, un **ÁGATA** y una **AMATISTA**; en la cuarta fila, un **CRISOLITO**, un **ÓNICE** y un **JASPE**; todas estarán engastadas en oro.” (Ex. 28, 16-20)*

El hecho de que se mencionen 12 nombres distintos de gemas revela que, además de ser apreciadas, se conocía ya una amplia variedad de ellas.

Otro ejemplo de distinta índole es la *Historia Natural* de Plinio el Viejo (79 A.D.), texto de gran importancia, tanto en su época como al lo largo de una buena parte de la Edad Media. En esta obra, que recopila casi todo el saber de su tiempo, las gemas tienen una presencia relevante, no sólo con descripciones de su apariencia, como esta del ópalo:

*El **ÓPALO** tiene el fuego refulgente del **CARBUNCLO**, el glorioso púrpura de la **AMATISTA** y el verde mar de la **ESMERALDA**, todos esos colores brillando juntos mezclados de una forma increíble.*



Ópalo australiano

que muestra un conocimiento generalizado de las gemas y

sus características, sino que incluye también aspectos sociales relacionados, como el precio, en el caso del ámbar:

“Una pequeña figura humana hecha de ÁMBAR se vende por un precio mayor que un hombre vivo, incluso aunque sea fuerte y vigoroso”.

En relación con la ciencia, las gemas aparecen en épocas muy remotas. Quizás los textos científicos más antiguos que mencionan gemas sean los recetarios egipcios que indicaban métodos para “fabricar” imitaciones de gemas. Se trata de los conocidos como Papiros de Leyden y de Estocolmo. Los ejemplares que se conservan son del s. I el de Leyden y del s. IV el de Estocolmo, pero claramente se trata de copias de textos del antiguo Egipto.

En la tradición griega se puede mencionar a Thales de Mileto, (600 B.C.), que descubre la electricidad estática en el ámbar. Theophrastus (315 B.C.), discípulo de Aristóteles, ya realiza una clasificación de las gemas según su color . Finalmente, la antes mencionada Historia Natural de Plinio, (79 A.D.), trata sobre las gemas, que considera una categoría en la clasificación de los minerales, pero además incluye referencias al calentamiento de las mismas y a las técnicas de montaje para mejorar su aspecto.

Durante la Edad Media y Renacimiento las gemas aparecen en los textos sobre minerales en general, pero no son tratadas de manera aislada, sino en relación con la medicina y la alquimia, haciendo alusión a sus propiedades terapéuticas o mágicas. Los lapidarios medievales incluyen descripciones más o menos ajustadas de las gemas junto con estas supuestas propiedades, en algunos casos derivadas de su adscripción astrológica.

Uno de los lapidarios de este tipo, entre los más antiguos y de los más citados, es el de Marbodius (1061-1081); como curiosidad se puede mencionar que está escrito en verso. También fue muy famoso y el de Bartolomeus Anglicus *De proprietatibus rerum* 1240, del cual incluso se hizo una traducción al español a finales del s.XV que se editó en Zaragoza. Pero quizás la obra de mayor influencia en Europa sea la de San Alberto Magno, *De Mineralibus* (1260), inspirada en los textos de Avicena (s. XI), que incluye todo tipo de minerales, de los que una buena parte son gemas.

Dentro de la Península Ibérica es especialmente valioso el Lapidario de Alfonso X el Sabio (1278), el cual describe la naturaleza de las piedras y sus propiedades, las cuales no son intrínsecas, sino que se derivan de las constelaciones que las rigen.

Otras obras dedicadas específicamente a las gemas aparecen a partir del s. XVI:

- Erasmus Stella (1517) *Interpretamenti Gemmarum Libellus*.

- Gaspar de Morales (1598) *De las virtudes y propiedades maravillosas de las piedras preciosas*, impreso en Madrid en 1605.
- Anselmo Boecio (1609) *Gemmarum et lapidum Historia*.
- Thomas Nicols (1652) *A Lapidary or the history of pretious stones*. La importancia de las gemas no disminuye con la aparición de los primeros indicios de ciencia moderna. Por el contrario, R. Boyle, cuya obra pone fin a la alquimia y da entrada a la química moderna, dedicó un tratado entero a las gemas: *An Essay about the origine and virtue of Gems* (1672).

La literatura medieval en árabe sobre gemas merece un capítulo aparte, por su amplitud y la modernidad de sus conocimientos, lo cual parece relacionado con la expansión de los imperios islámicos por la India y otras zonas productoras de gemas.

2. ASPECTOS CIENTIFICOS DE LAS GEMAS

La ciencia de las gemas incluye muchos aspectos, y el desarrollo de los mismos ha sido desigual a lo largo de la historia.

2.1. EXPLORACIÓN Y EXPLOTACIÓN

A lo largo de la historia, en la mayor parte de los casos el descubrimiento de un yacimiento de gemas se debe a hallazgos casuales y sólo se han aplicado conocimientos científicos a su posterior explotación. Históricamente, Europa compraba gemas de países lejanos y los datos sobre los yacimientos de procedencia han llegado por medio de los relatos de viajeros y geógrafos. Estas descripciones incluían muchas veces leyendas y mitos. Quizás el caso mejor conocido es el de los diamantes, sobre los que se decía que yacían en valles inaccesibles al hombre, bien por su orografía, bien por estar infestados de serpientes, y para acceder a ellos se valían de aves (halcones, gorriones, águilas,...): se arrojaban pedazos de carne a los que se adherían los diamantes y las aves los recogían para alimentar a sus crías; los llevaban hasta sus nidos de donde ya podían ser extraídos. Estos relatos fantásticos son recogidos, entre otros, por Marco Polo. Un relato más verídico es el realizado por Tavernier (ca.1675) en su viaje por Turquía, Persia y la India. En el relato de su viaje describe



Dressed in the Robes of Honour presented to him by the Shah of Persia.

Retrato de Tavernier en Persia
www.columbia.edu

muchas gemas, especialmente diamantes, y también las fabulosas minas de Golconda, en la India, de donde procedían todos ellos.

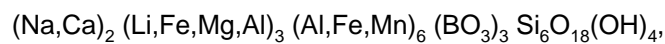
Las esmeraldas de Colombia fueron “descubiertas” en el s. XVI por los conquistadores españoles pero los indios ya las conocían. Respecto a Europa, Chivor se explota desde 1545 y Muzo desde 1594.

Golconda deja de ser la única fuente de diamantes a partir de s. XVIII, cuando aparecen, también casualmente, los diamantes del Brasil (1729). Y también es casual su hallazgo en Sudáfrica en 1867.

El caso que si puede considerarse un hallazgo “científico” es el más reciente de las Paraibas. Esta rara variedad de Turmalina:



*Paraibas brasileñas con distintos matices de color. Foto Wimon Manorotkul
www.collectorfinejewelry.com*



Correspondencia entre Sudamérica y África, antes de la apertura del océano Atlántico

La separación actual es responsabilidad de la separación de las placas europea y americana.

cuyo especial color azul verdoso está relacionado con la presencia de Cu, fue descubierta por primera vez en 1989 en Brasil en el estado de Paraíba, que les dio nombre. Brasil mantuvo la exclusividad hasta que en 2001 aparecieron en el mercado piedras semejantes procedentes de Nigeria. Es fácil ver sobre el mapa que ambas zonas son geológicamente equivalentes y que su

2.2. PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS GEMAS

Las propiedades físicas de las gemas son importantes desde dos aspectos: por una parte son las características responsables de las cualidades por las que son

apreciadas: belleza (color y brillo) y durabilidad, pero además son la base de los métodos de identificación de las mismas.

Desde un punto de vista histórico, el primer aspecto ha sido recogido en los textos sobre gemas desde la antigüedad, aunque con diversas orientaciones. Las primeras descripciones de las propiedades físicas de las gemas se remontan a los lapidarios medievales antes mencionados, en los que se mezclan con las propiedades terapéuticas o mágicas que se les atribuían. Aunque en el caso de estas últimas se trate generalmente de propiedades fantásticas, no dejan de tener algunos puntos de conexión con la realidad más cotidiana. Un ejemplo, casi humorístico, lo encontramos en el *“Tratado de los metales y piedras preciosas: y de sus virtudes”* de Bartholomeus Anglicus (1240), que, sobre el diamante dice:

“Esta piedra, según Disocórides es piedra de reconciliación y de amor, ca si la mujer ha contra su marido discordia, por la virtud de esta piedra más ayna tornará en amor y concordia”

Como se puede apreciar, se trata de una “cualidad” fundada más bien la Psicología. En otros casos las cualidades fantásticas no son de las piedras sino de las estrellas que las rigen, así que el mito no es gemológico sino astrológico. Así, cada una de las piedras del Lapidario de Alfonso X el Sabio (1278) se corresponde con un signo del Zodíaco y un grado: por ejemplo el diamante toma sus propiedades de una estrella de gran intensidad en la constelación de Perseo.

Estas propiedades son criticadas en tratados posteriores, como el de Erasmus Stella (1517) *“Interpretamenti Gemmarum Libellus”*. Sin embargo, en cuanto a las auténticas propiedades físicas, se apreciaban ya prácticamente las mismas que actualmente. En el Lapidario de Alfonso X el Sabio, podemos encontrar referencias a:

- *El color: la esmeralda “entre todas las piedras verdes es la principal”.*
- *El resplandor: el carbunco, “su resplandor no es vencido por la oscuridad de la noche”*
- *La dureza: la del diamante es la mayor.*

Además de los textos que ya se han mencionado, hay que destacar, en este aspecto, la literatura científica medieval en lengua árabe, importante por su amplitud y hondura. Por mencionar algunos autores destacados:

- Al-Kindi (~801-873 A.D.) escribió dos tratados sobre gemas, de gran difusión, que, desgraciadamente, no se conservan aunque los conocemos por las citas y menciones posteriores.

• Al Biruni (973-1048 A.D.) escribió un tratado de “*Cómo reconocer las gemas*”. Es quizás el más notable, ya que mide la densidad de varias gemas para su identificación.

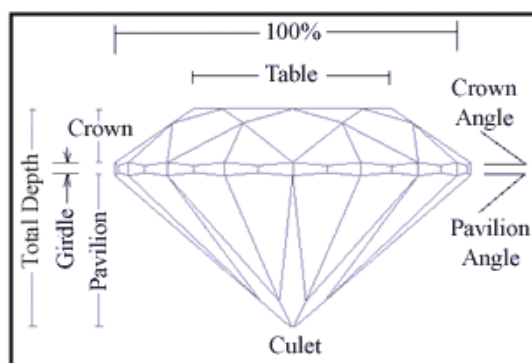
• Al-Razi (886-925 A.D.) escribió el “*Secreto de los Secretos*”, obra que llega a Europa en el s.XIII por una traducción de Bacon, en la que describe propiedades físicas de minerales.

• Yaqut Al Rumi (1179-1229 A.D.) tiene en una de sus obras la descripción del lapislázuli y la espinela de Afganistán, con una curiosa mención a un fulgor nocturno que puede corresponder a la fluorescencia de esta gema; Nasiraddin Tusi (1201-1274 A.D.) y Muhammad Shirvani (1375-1450 A.D.) describen propiedades médicas de las gemas (rubí, diamante, esmeralda, zafiro, turquesa).

• Al Tifaschi escribió en 1240 A.D. una obra denominada “*Florilegio de ideas sobre las gemas*”, en la que describe las gemas de la India y Ceilán, e incluso sus tratamientos.

Lo que conocemos como GEMOLOGÍA CLÁSICA se caracteriza por el estudio de las propiedades ópticas, que les confieren belleza: el índice de refracción en el brillo, la dispersión como responsable del fuego, y sobre todo el color. Sobre este el conocimiento de las gemas aportó el primer estudio sobre los mecanismos que producen el color en los minerales, con el trabajo clásico de Nassau (1978)¹. Actualmente se trabaja en la caracterización precisa del color por medio de coordenadas cromáticas.

El conocimiento de las relaciones entre propiedades físicas, sobre todo ópticas y la belleza de las gemas ha permitido aplicar criterios científicos para mejorar sus cualidades estéticas. Quizás el ejemplo más conocido es el diseño de la talla brillante, la más común en diamante hoy día, que fue calculada para equilibrar el brillo y el fuego de esta gema, a partir de sus propiedades ópticas. La talla está calculada para que todos los rayos de luz que entran por la corona sean devueltos al observador, de manera que el brillo sea máximo. Al mismo tiempo el ángulo de salida produce la dispersión de los colores de la luz originando el fuego.



Proporciones de la talla brillante moderna
www.geoffreysdiamonds.com/cut.asp

¹ Nassau, K. (1978) The origins of color in minerals. *American Mineralogist*, 63 (3-4), 219-229.

De esta forma, la evolución de la talla ha ido paralela al desarrollo de los avances científicos y técnico, y así se ha pasado de los tiempos en los que apenas se podían pulir las gemas en cabujón, o hacer inscripciones en un diamante, a las actuales tallas que se hacen mediante modelización por ordenador, de manera que se pueden ver los resultados posibles con los distintos tipos de talla. De esta manera se consigue un resultado óptimo para cada ejemplar.



La “Estrella del Milenio”, propiedad de De Beers.

2.3. DESARROLLO DE HERRAMIENTAS GEMOLÓGICAS y TÉCNICAS DE ANÁLISIS PARA SU IDENTIFICACIÓN

Antecedentes históricos

No es exagerado decir que la identificación de las gemas es quizás el principal problema que se plantea la Gemología. Desde la ciencia se intentado aportar soluciones, aunque los resultados han sido, desde el principio, muy variados. Uno de los primeros intentos aparece mencionado en la obra de Alberto Magno (1260) *De Mineralibus*, en la que dice que él personalmente fue testigo de la siguiente experiencia:

“...Vimos hace poco una esmeralda que era pequeña de tamaño, pero maravillosamente hermosa. Cuando fuimos a probar su calidad alguien dijo que, si se hacía un círculo alrededor de un sapo con la esmeralda y se arrojaba luego la piedra a los ojos del sapo, sucedía una de esas dos cosas: o bien la piedra, si era de escasa calidad, se rompería por la mirada del sapo, o bien el sapo reventaría si la piedra estaba poseída de todo su vigor natural. Sin pérdida de tiempo dispusimos las cosas como él nos había dicho que hiciéramos, y al cabo de un cierto lapso de tiempo, durante el cual el sapo mantuvo fija su mirada en la gema, el animal empezó a crujir como una nuez aplastada y una parte de su cuerpo salió disparada del círculo. Luego, el sapo, que hasta entonces se había mantenido inmóvil y erecto, se retiró, como si se hubiese visto liberado del influjo de la gea”.

En este caso se trata de un fracaso de índole práctica, no se consigue identificar la gema, pero sirve para comprobar que la aplicación del método científico permite comprobar o rechazar los mitos divulgados sobre este tema.

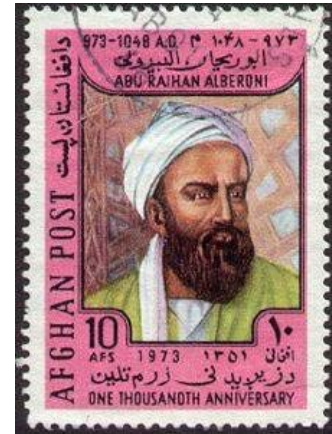
En la obra de al Biruni *“Tratado sobre cómo reconocer las gemas”* (1048) encontramos, sin embargo, una descripción precisa, puede decirse casi moderna, de las propiedades físicas que permiten identificar las gemas, incluyendo descripciones, por ejemplo de hábito y morfología cristalinas, color, raya, dispersión, dureza, inclusiones. También proporciona información sobre el origen, procedencia y métodos de extracción de las gemas. A este respecto hay que destacar que, si bien recoge las

leyendas y tradiciones existentes, no las acepta directamente, sino que las pone en tela de juicio. Concretamente, respecto al mito, ya mencionado, sobre la procedencia de los diamantes: recogidos por diferentes aves (gorriones, halcones) para sus nidos cubiertos con un vidrio; águilas que los recogen de entre las serpientes..., dice:

“Hay muchos cuentos absurdos que circulan entre la gente acerca de las minas de diamante”²



El aparato de Al Biruni para medir densidades de gemas en un manuscrito de Al Jazani, físico de Jorasán (Persia) del s. XI. www.muslimheritage.com



Sello conmemorativo del milenario de al Biruni

Pero lo más llamativo es que también tiene MEDIDA de propiedades,

concretamente de la densidad, destinada a la identificación. Para ello diseñó un aparato sencillo, basado en la medida de la cantidad de agua desalojada por la gema, y referidas a una unidad, que era el mizcal; al yaqut –corindón- se le asigna el valor de 100. Los valores que obtiene, transformados a las medidas actuales, muestran una precisión sorprendente.

Pesos específicos determinados por al Biruni		Valores actuales
Rubí	3.85	3.9-4.1
Zafiro	3.97	3.9-4.1
Espinela	3.58	3.60
Esmeralda	2.75	2.73
Cristal de roca	2.50	2.58

El problema: RUBÍ -ESPINELA

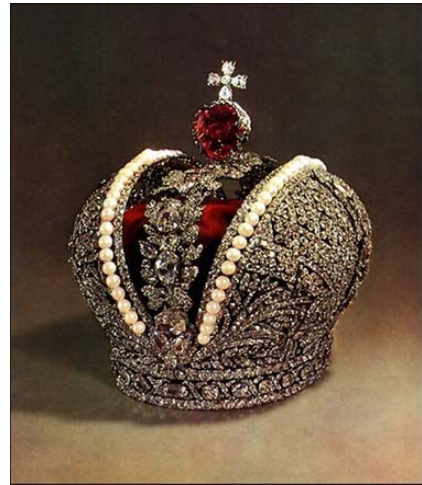
La medida de la densidad que realiza al Biruni le permite distinguir entre rubí y espinela, dos gemas que, en el entorno occidental, sin embargo, no se consideran distintas hasta varios siglos después (algunas fuentes mencionan a Romé de L'Isle en 1783 como el primer descubridor). En efecto, la similar composición química y, hasta cierto punto, estructural de ambas gemas (RUBÍ: Al_2O_3 - ESPINELA: $Mg Al_2O_4$) condiciona aspecto semejantes. Además, con frecuencia, aparecen en los mismos yacimientos. Por ello durante mucho tiempo las espinelas fueron denominadas rubíes, y

2, Abu Rayhan Muhammad b. Ahmad al Biruni (1989) The Book most comprehensive in knowledge on precious stones (Kitab al-yamahir fi ma`rifat al-yawahir) Hakim Mohammad Said (trad y prol) [en línea] Ed. Pakistan Hijra Council, Islamabad, 375 pp. Disponible en web: www.farlang.com/gemstones-diamonds-books [consulta: Julio de 2008]

así encontramos incluso piezas de valor gemológico e histórico. Hay tres espinelas de importancia que figuran en los museos y que fueron tomadas como rubíes:

- El “Rubí” Príncipe Negro, 170 quilates, que está en el Tesoro de la Corona británica desde mediados del s. XIV.
- El “Rubí” Timur, 352.50 quilates, que perteneció a Tamerlán, en el Tesoro de la Corona británica desde 1849. La mayor de todas, una espinela de 398.72 quilates que se incorporó a la Corona imperial rusa en 1762.

Durante la Edad Media una buena parte de las espinelas procedía de la región de Badajshán, zona visitada por muchos viajeros árabes, que mencionan las gemas en sus relatos. La denominación



Corona imperial rusa (1762), rematada por una espinela de 398.72 quilates.



Región de las minas de espinela de Badajshán.
www.palagems.com/spinel_ball.htm³

que aparece en muchos de ellos, para referirse a la espinela es “baljash”, de donde procede el término “rubí balas” que se utilizó en occidente hasta hace no mucho tiempo para denominar a las espinelas rojas de calidad gema⁴.

Herramientas gemológicas y técnicas de análisis clásicas

Las gemas, como objeto de análisis, presentan unos rasgos especiales, que han llevado al desarrollo de herramientas específicas. La principal característica que deben tener las técnicas de análisis para gemas es que deben ser NO DESTRUCTIVAS. Por ello se utilizan, sobre todo, medidas de propiedades físicas. Con estas se persigue, normalmente, la identificación del tipo de material gemológico, es decir, la

³ Richard W. Hughes, The Rubies and Spinel of Afghanistan – A brief history Disponible en web: <http://www.ruby-sapphire.com/afghanistan-ruby-spinel.htm> [consulta: 2671072008]

⁴ W.J. Sersen, (1995) Gem Minerals in Early Arabic Literature. *Mineralogical Record*, 26 43-48.

especie mineral, que ha constituido, durante mucho tiempo, el problema básico de la Gemología. La determinación de otras características de la gema, como origen, procedencia, tratamientos, ... ha ido ganado importancia, especialmente con la aparición de materiales sintéticos y la proliferación de los tratamientos de las gemas.

Históricamente, la primera de las propiedades físicas medidas para identificación fue la densidad. Se trata de una medida única por gema y sigue siendo útil, pero el desarrollo de herramientas gemológicas ha permitido la medida de las propiedades ópticas, que se han convertido en la base de la identificación en la Gemología clásica.

- El índice o índices de refracción (en el caso de gemas birrefringentes) de una gema son de las más útiles para la identificación de la especie mineral. El REFRACTÓMETRO gemológico, que se desarrolla a fines del s. XIX, permite su medida precisa así como de la birrefringencia.

- El espectro de absorción de la luz visible de una gema es otro de los rasgos característicos. En muchas ocasiones permite además establecer el carácter natural o sintético de la gema. Su observación se realiza mediante el ESPECTROSCOPIO, que aparece en fecha próxima al refractómetro: el espectroscopio de prisma aparece en 1859 y en 1866 se produce la primera descripción del espectro de absorción del circón.



Refractómetros gemológicos
www.gemsociety.org



Espectroscopia de prisma
usado en gemología.
www.free-form.ch/tools/gemology.html

- Los caracteres morfológicos de las gemas, tanto exteriores como interiores, son muy variados: rasgos de la talla, huellas, inclusiones, por lo que responden a aspectos diversos, no sólo a la naturaleza de la gema, sino también a su origen y tratamientos. Para su observación se utiliza el MICROSCOPIO; aunque los microscopios son más antiguos, la sistematización de estos rasgos para permitir una caracterización completa de la gema no se produce hasta los trabajos de Gübelin de 1953.

OTRAS DETERMINACIONES: Aunque las tres anteriores se consideran las herramientas básicas para la identificación y caracterización de las gemas en la Gemología clásica, no son las únicas. Existen otras propiedades, y herramientas, que son de gran utilidad en casos concretos.

- **FLUORESCENCIA:** es la emisión de luz visible de distintos colores como respuesta a la excitación mediante radiación ultravioleta. Su presencia responde primariamente a rasgos estructurales concretos (defectos cristalinos) así como a algunas peculiaridades de la composición química

- **CONDUCTIVIDAD TÉRMICA Y REFLECTANCIA** Son propiedades que se empezaron a utilizar hace poco tiempo y con una finalidad muy concreta: la identificación del diamante y de sus simulantes. Precisamente fue la aparición de un gran número de estos la que condicionó el desarrollo de aparatos sencillos para un uso fácil rutinario.

- **TRANSPARENCIA A LOS RAYOS X** Las gemas presentan distintos grados de transparencia de a los rayos X, por lo que esta propiedad puede ser diagnóstica; de hecho, es especialmente útil para la diferenciación entre perlas naturales y cultivadas. Sin embargo presenta el inconveniente de utilizar radiaciones que requieren medidas de seguridad, por lo que no ha llegado a ser una herramienta de usos común.

Nuevas técnicas

En los últimos años se han comenzado el desarrollo de la instrumentación científica ha permitido aplicar a materiales gemológicos algunas de las técnicas de análisis más modernas. Su uso es, en estos momentos, limitado, restringido a grandes laboratorios o a aplicaciones muy concretas, pero la aparición de instrumentos cada vez más sencillos y, al mismo tiempo, más precisos, junto con la utilidad de la información que suministran, especialmente de cara a diagnosticar sintéticos y tratamientos, está divulgando su uso. Se describen algunos de los grupos de técnicas de este tipo junto con ejemplos de sus aplicaciones

TÉCNICAS NO DESTRUCTIVAS

- Espectroscopías, de las que existen diversos tipos: Infrarrojos, Visible, Raman.

Se basan en la detección de moléculas: agua, CO₂, productos orgánicos (resinas, polímeros, ...). Suministran información sobre el origen de la gema, no sólo si es natural o sintética, sino también sobre el tipo de síntesis; también permite identificar algunos tratamientos. Como las espectroscopias aplicadas a la Gemología serán objeto de un seminario especializado, por el Dr. D. Ajo' en estas mismas Jornadas⁵, no se describen aquí sino algunos rasgos y aplicaciones concretos.

⁵ Ver Seminario especializado Dr. D. Ajo': El estudio espectroscópico de materiales gemológicos pertenecientes a obras del patrimonio histórico-artístico y la artesanía *en esta misma obra*.

Una de las posibilidades de estas técnicas es que se pueden aplicar al análisis de la gema en su conjunto o, en combinación con la microscopía, a las inclusiones que contiene. Otras posibilidades estriban en la caracterización muy precisa del color de una gema. Un caso posible es la definición y determinación del color de un corindón, para separar el zafiro rosa del rubí, aspecto que es muy controvertido y difícil de dilucidar mediante una observación visual.

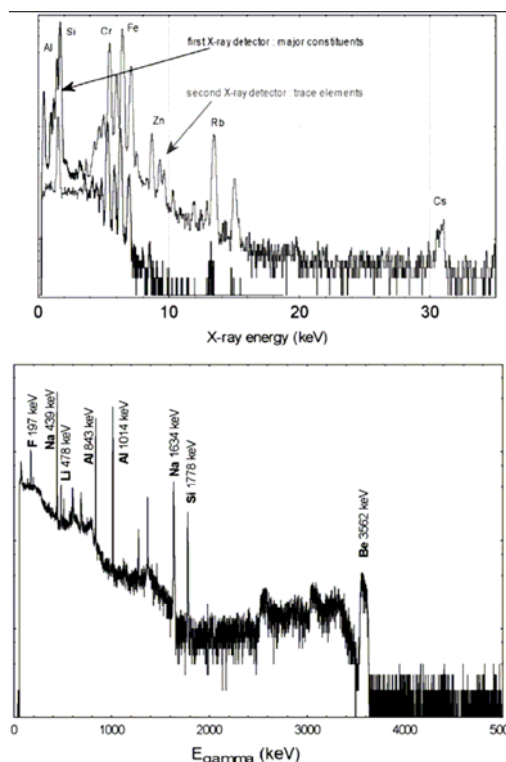
La **espectroscopía de rayos γ** es un caso especial de espectroscopía, por la fuente de radiación a utilizar, y que tiene una aplicación muy concreta, pero importante, ya que permite la detección de radiactividad residual en gemas irradiadas. La difusión de esta técnica permitiría resolver dos cuestiones controvertidas en la actualidad respecto a los tratamientos por irradiación:

- por una parte determinar que una gema ha sido tratada por radiación, tratamiento que debería declararse siempre, y,
- por otra, establecer los límites “legales” de radiación residual que no puede superar una gema irradiada para poder ser comercializada.

- Fluorescencia de rayos X: EDXRF, MXA, PIXE/ PIGE...

Son un conjunto de técnicas basadas en el bombardeo de la muestra con un haz de rayos X, o de partículas, que excita la superficie de la muestra, de manera que esta que emite con energías características de su composición química. Por tanto. La información que suministra es respecto a la composición química de la muestra, es decir, permite identificar, y a veces cuantificar, los elementos químicos presentes en

la gema, tanto elementos mayores como trazas. Esta información es útil para determinar el origen de una gema, su procedencia, y, en el caso de los sintéticos, el tipo de síntesis utilizada para su crecimiento.



Espectros PIXE (rayos X) y PIGE (rayos γ) de esmeralda de la corona visigótica de Guarrazar (s. VIII). Aparecen los principales componentes de la esmeralda (Be, Al, Si), así como algunos elementos traza (Li, F, Na, Mg, Ca, Ti, Rb, Ni, Cu, Zn, Cs) ⁶.

⁶ M. F. Guerra, T. Calligaro and A. Perea (2007), . The treasure of Guarrazar: tracing the gold supplies in the visigothic iberian peninsula. *Archaeometry*, 49 (1), 53 –74.

Un ejemplo de aplicación práctica es para la identificación de la procedencia de gemas históricas, información que está relacionada con las rutas comerciales existentes en la época. En el caso del **tesoro visigótico de Guarrazar (Toledo)**, el análisis indicó que las esmeraldas eran de procedencia europea (Habachtal, Austria).

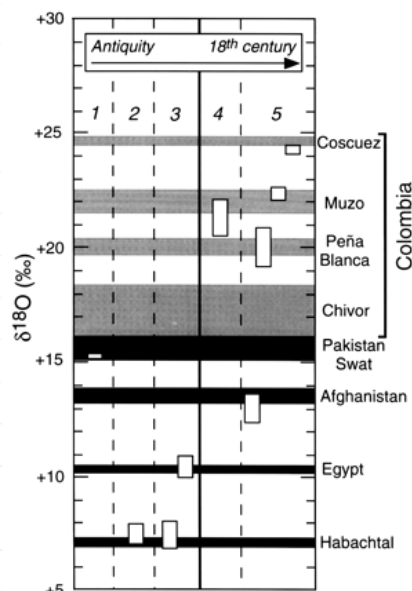


Corona con gemas del tesoro de Guarrazar (MAN)

TÉCNICAS ESCASAMENTE DESTRUCTIVAS

• LA - ICP – MS (Laser Ablation - Inductively Coupled Plasma – Mass Spectroscopy). Se trata de la combinación de técnicas de toma de muestras (la ablación láser permite tomar una muestra de tamaño mínimo) y análisis composicional (análisis químico por ICP e isotópico por MS). El

resultado es que analiza con gran precisión una porción pequeñísima de muestra; las dimensiones de la huella dejada: $\varnothing = 10-20 \mu\text{m}$ y profundidad de \AA . La determinación precisa de las concentraciones y de las proporciones isotópicas aporta información sobre procedencia, yacimiento, identificación individual de la gema, tratamientos,...



Comparación entre las esmeraldas históricas analizadas y las utilizadas como patrón de procedencia⁷

Un ejemplo es de este tipo de análisis es el realizado sobre diversas esmeraldas, cuya historia era conocida, para establecer las rutas comerciales. Se analizaron los isótopos de ^{18}O de diversas esmeraldas:

- 1: Pendiente galo-romano
- 2: Esmeralda de la Sta. Corona de Francia (s.XIII)
- 3: Esmeraldas de Hauy (1806)
- 4: Esmeralda del galeón N.Sra. De Atocha (1622)
- 5: Esmeraldas del Nizam de Hyderabad (s.XVIII)

Los resultados se compararon con los datos existentes de esmeraldas de procedencia conocida. Se obtuvo así el origen más probable de cada una de las esmeraldas. Una conclusión importante fue que la esmeralda del tesoro de Hyde-rabad, en la India, procedía de Colombia, lo que permitió trazar las rutas comerciales más probables para las esmeraldas en el s. XVI.

⁷ Gaston Giuliani, et al (2000) Oxygen Isotopes and Emerald Trade Routes Since Antiquity. *Science*, 287, 631.

2.4. TRATAMIENTOS, IMITACIONES Y SÍNTESIS

Todos estos procesos implican un cierto grado de desarrollo tecnológico, que permite aplicar técnicas de crecimiento cristalino, y parecen estar relacionados también con el conocimiento relativamente profundo de las propiedades de las gemas: se conocen lo suficientemente bien para poder “fabricarlas” o mejorarlas. Por ello se tiende a pensar que son avances relacionados con el desarrollo científico occidental del último siglo. Sin embargo, si bien es cierto que los últimos años se ha producido una proliferación de tratamientos, así como han aparecido en el mercado numerosos materiales sintéticos, tanto auténticos sintéticos como diversos simulantes, es decir materiales que se parecen a gemas naturales pero de distinta naturaleza (la circonita es el más conocido), existen datos que muestran que, desde muy antiguo, se ha intentado, y con frecuencia logrado, “fabricar” gemas y mejorar las existentes.

Se conocen como tratamientos los procesos que se aplican a las gemas (en bruto o talladas) para mejorar sus cualidades gemológicas y que no son detectables a primera vista. Habitualmente se asume que este tipo de tratamientos son una invención moderna, de los últimos 50 años. Es cierto que en los últimos tiempos se ha producido un gran desarrollo y proliferación de los mismos, pero algunos tipos de tratamientos son conocidos

En el antiguo Egipto ya se “fabricaban” imitaciones de gemas, que han sido encontradas en los tesoros funerarios; los papiros de Leyden y de Estocolmo, ya mencionados, incluyen descripciones de los métodos utilizados. También aplicaban algunos tipos de tratamientos, como el teñido de gemas, incluido en las “recetas” de dichos papiros, y parece que conocían la mejora del color de la cornalina por calentamiento.

En el año 2000 BC los Minoicos ponían láminas finas de oro batido en el fondo de las gemas transparente para hacerlas más reflectantes, lo que supone un precedente de las gemas compuestas

La Historia Natural de Plinio menciona también procedimientos para teñir gemas, así como otros tratamientos como la inmersión en aceite. Pero en relación con este tema, lo más llamativo es quizás la descripción del tratamiento térmico de los rubíes de Ceilán que hace al Tifaschi⁸, muy semejante al utilizado hoy, de forma artesanal, en algunas zonas del sudeste de Asia. En su obra, escrita en el s. XIII, aparece

⁸ *Ahmad ibn Yusuf Al Tifaschi's Best Thoughts on the Best of Stones en Samir Najm Abul Huda Arab Roots of Gemology*

reflejado como un conocimiento habitual entre los comerciantes y estudiosos de las gemas.

En el Renacimiento, especialmente en Italia, aparecen tratados de joyería con menciones de técnicas de teñido y decoloración por calor de gemas y cómo detectar los tratamientos, así como recetas para fabricar imitaciones: cuarzo craquelado y teñido de verde para simular esmeraldas, imitaciones de perlas a base de cuentas de vidrio y diversos colorantes,... Algunas menciones a estos procesos aparecen en la conocida obra de Biringuccio “De la Pirotecnica” (1540).

Tratamientos

Hoy día los tratamientos de las gemas son procesos rutinarios; el problema que esta situación plantea es la obligatoriedad o conveniencia de su declaración a los compradores o usuarios de gemas, tanto por razones éticas como por los riesgos de estabilidad de la gema que acarrearán en algunas ocasiones. Aunque existen muchos tratamientos distintos, algunos específicos de ciertas gemas, se pueden agrupar en tres grandes bloques:

TRATAMIENTOS POR CALENTAMIENTO: Son los más antiguos y más comunes; suelen tener como objetivo la mejora del color. En una gran parte de los casos el calentamiento actúa sobre la valencia de los cationes cromóforos, en otros casos sobre los defectos cristalinos responsables del color. Se aplican a numerosas gemas, de manera que en muchos casos se considera que la gema está tratada salvo excepciones. Algunos ejemplos de gemas con el efecto producido por el calentamiento



Aguamarinas; la mayoría de las que se comercializan están tratadas por calentamiento para eliminar la componente amarilla del color natural

- En las aguamarinas el proceso intensifica el color azul por eliminación de la componente verde, de manera que apenas se encuentran aguamarinas con un mínima matiz verdoso
- En los rubíes el tratamiento produce el mismo efecto que ya era conocido en la Edad Media en Ceilán, la eliminación del matiz púrpura para producir un rojo más vivo.
- Las transformaciones entre amatista y citrino (dos variedades gemológicas del cuarzo) son conocidas, pero es más frecuente la transformación de amatista en citrino que la opuesta, debido a la mayor abundancia de aquella

- En el caso del topacio, los tonos rosados son preferidos al amarillo, así que con el calentamiento se eliminan los tonos amarillentos.
- En gemas opacas se utiliza para mejorar el color de la cornalina, así como también para aumentar la transparencia en el ámbar...
- Pero quizás el caso que mejor ilustra la importancia de los tratamientos por calor, y su generalización, es la TANZANITA, gema que no existiría sin el calentamiento. Esta gema es una variedad de Zoisita que fue descubierta en Tanzania en 1966 y comercializada por Tiffany, que le dio el nombre por el que se la conoce. En su mayoría, las tanzanitas en bruto son de un color pardo poco atractivo para una gema, y sólo tras el calentamiento adquieren el color azul ligeramente violáceo por el que son apreciadas.



Tanzanita
www.piedras-semipreciosas.net/

A pesar de la generalización de los tratamientos sólo se conocen parcialmente los mecanismos sobre los que actúan. Los estudios espectroscópicos pueden contribuir a conocer mejor las causas del color y mejorar los tratamientos.

TRATAMIENTOS POR IRRADIACIÓN: Estos tratamientos son más modernos y más controvertidos en cuanto a su uso y a su eventual declaración, tanto por la posibilidad de que exista una radiación residual como por las sospechas que habitualmente suscitan este tipo de procesos. Se trata de métodos que requieren instalaciones especiales y que utilizan diversos tipos de radiación ionizante, a veces combinadas con tratamientos térmicos. Algunos ejemplos:

- Los diamantes fueron las primeras gemas sometidas a radiaciones, para conseguir colores de fantasía (verdes, amarillos, azules).
- El tratamiento por irradiación del topacio tiene como objetivo transformar gemas originalmente incoloras o pardas a azules, color poco común en los topacios naturales. Es de los más frecuentes en los últimos tiempos y distintas empresas consiguen diversos tonos de azul que comercializan con distintos nombres.



Topacio natural (abajo izquierda) y topacios azules por irradiación (el resto) Smithsonian Natural History Museum; Washington, DC

OTROS TRATAMIENTOS: Existen además tratamientos de índole muy variada que se aplican cada uno a uno o pocos tipos de gemas. Los efectos perseguidos son diversos, pero frecuentemente suponen la adición de una sustancia ajena a la gema.

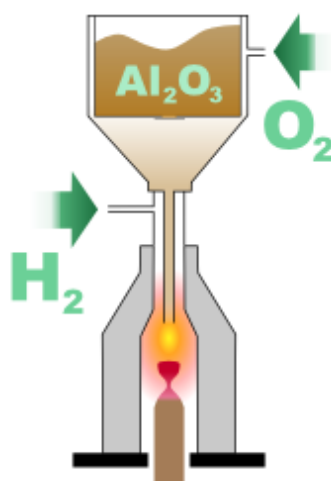
- Impregnaciones incoloras, de las que la más conocida es la de las esmeraldas en aceite, para reducir el efecto visual de las imperfecciones
- Impregnaciones coloreadas o tintes sobre gemas porosas: jade, ágata, perlas, ...
- Recubrimientos protectores sobre gemas inestables: turquesa, ópalo,...
- Relleno de fracturas, especialmente en rubí
- Eliminación de inclusiones en diamante por vaporización mediante láser; frecuentemente son seguidas del relleno del orificio por una sustancia de índice de refracción similar al diamante.

...

Síntesis y simulantes

La síntesis de materiales gemológicos como los naturales requiere el conocimiento exacto de la composición química de los mismos, además de un cierto grado de desarrollo tecnológico e instrumental, ya que, por su propia naturaleza -son estructuras compactas y resistentes- necesitan, generalmente condiciones de alta temperatura e, incluso, alta presión. Por ello la síntesis ha sido el último de los avances adquiridos por la Gemología, y es, quizás, en el que más novedades están apareciendo en los últimos tiempos, tanto en cuanto a la síntesis de gemas tradicionales como en el desarrollo de nuevos materiales.

Los comienzos de la síntesis de gemas se sitúan normalmente en los trabajos de Verneuil y la síntesis por fusión a la llama de corindón, entre los años 1887 y 1890. El resultado de estos trabajos fue la puesta a punto de la primera síntesis comercial de corindón, aunque ya se había realizado de modo experimental, unos años antes, por Freymy y Feil. Durante el siglo XX se han sintetizado, con mejor o peor resultado casi todas las gemas, mediante diversos métodos. La



Esquema del dispositivo de síntesis por fusión a la llama y bola de corindón producida por este procedimiento.



síntesis de materiales opacos ha sido, en general, más tardía, no sólo debido a las dificultades técnicas de producir los efectos ópticos deseados, sino también a la necesidad de entender el mecanismo de los mismos. En orden cronológico:

- Síntesis de la espinela, 1915
- Síntesis de la esmeralda, alejandrita, crisoberilo, ...
- Síntesis de ópalo en los años 70
- Síntesis de la turquesa en 1970, lapislázuli, jadeíta, ...

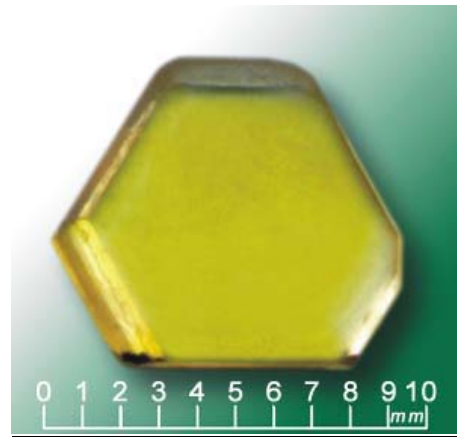
La síntesis de SIMULANTES (substancias que tienen propiedades similares a las gemas aunque no son de su misma naturaleza) ha sido otro de los campos de desarrollo en la Gemología de los últimos años y sigue aún produciendo nuevos materiales. En su mayoría se trata de simulantes del diamante, gema que se popularizó a finales del s. XIX y principios del s. XX, por lo que, a mediados de este siglo, se empezaron a buscar imitaciones de cierta calidad.

Los primeros en ser usados fueron los vidrios; la aparición de los plásticos determinó también algunos intentos de utilizarlos, pero su escasa dureza y pobre brillo los hacía poco adecuados. Posteriormente surgieron un conjunto de compuestos, con índices de refracción y dispersiones altas, que intentaban imitar el brillo y el fuego del diamante, pero con distintas durezas, por lo que algunos se rayaban fácilmente. Algunos de los simulantes que tuvieron (o tienen) mayor representación fueron: titanato de Sr (fabulita), YAG $Y_3Al_5O_{12}$, GGG $Gd_3Ga_5O_{12}$, circonita ZrO_2 , moissanita SiC.

En algunos casos la búsqueda de estos materiales, o la mejora de las técnicas de crecimiento cristalino, no fueron motivadas por el interés gemológico, sino que la Gemología aprovechó técnicas y materiales desarrollados con otros fines. Por ejemplo, el desarrollo de nuevos métodos de síntesis de corindón buscaba cristales para dispositivos láser; también es el caso de las síntesis de YAG y GGG, que luego se utilizaron como simulantes del diamante; más recientemente, la Moissanita surgió del desarrollo de celdas de alta presión.

SÍNTESIS DEL DIAMANTE: La profusión de simulantes del diamante se debe a las dificultades técnicas que presenta su síntesis propiamente dicha. Los primeros diamantes sintéticos obtenidos, por un método de alta presión, no eran de calidad gema, sólo industrial (General Electric. 1955). Hasta los años 70 no aparecen los métodos con fundente, que trabajan a presiones menores, y que producen diamantes de calidad gema (General Electric, 1970; Suminoto Electric Ind., 1985; De Beers Diamond Research Laboratory, 1987).

En la actualidad se está trabajando en el desarrollo del método de síntesis de diamantes CVD (Chemical Vapor Deposition), cuyo fundamento está en las síntesis realizadas en la URSS en los años 50, y que actualmente se aplica a la obtención de depósitos finos de diamante para semiconductores. Este método trabaja a bajas presiones pero sin fundente, por lo que se obtienen diamantes muy similares a los naturales; por ello la identificación de los mismos como sintéticos es uno de los problemas planteados.



Diamante sintético por CVD sin tallar



EXTRACCIÓN de la perla de la ostra (Japón) en.wikipedia.org

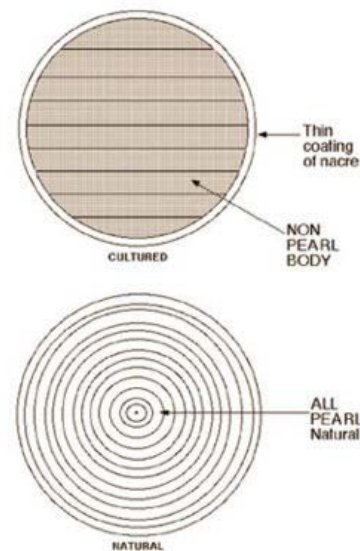
Las perlas

Las perlas merecen ser tratadas por separado ya que, al ser un material biológico, no se puede hablar de síntesis sino de cultivo. Al ser un proceso biológico, para repetirlo es preciso entender la formación natural. Los antecedentes de la obtención de perlas cultivadas se remontan a la China del s.XIII, en la que se cultivaban perlas de agua dulce. Carl von Linnaeus consiguió reproducir el proceso de manera experimental (1721). Pero hasta principios del s. XX no se consigue, en Japón, país con larga tradición de pesca de perlas naturales, un proceso comercial para la obtención perlas cultivadas marinas.

En la actualidad se trabaja en la mejora del rendimiento y en la obtención de perlas de calidades y colores determinados. Los controles de las condiciones bioambientales (temperatura, nutrientes, contaminación,...) de las zonas de cultivo son los factores sobre los que se está actuando.

Las perlas merecen ser tratadas por separado ya que, al ser un material biológico, no se puede hablar de síntesis sino de cultivo. Al ser un proceso biológico, para repetirlo es preciso entender la formación natural. Los antecedentes de la obtención de perlas cultivadas se remontan a la China del s.XIII,

en la que se cultivaban perlas de agua dulce. Carl von Linnaeus consiguió reproducir el proceso de manera experimental (1721). Pero hasta principios del s. XX no se consigue, en Japón, país con larga tradición de pesca de perlas naturales, un proceso comercial para la obtención perlas cultivadas marinas.



Diferencias entre perlas naturales y cultivadas. www.mymagicpearl.com

3. ÁMBITOS DE APLICACIÓN DE LA GEMOLOGÍA

Hasta ahora hemos repasado las contribuciones de las ciencias, en general, a la Gemología, y las aportaciones de esta ciencia al saber científico general. Pero la Gemología tiene también su influencia en diversas actividades humanas, que utilizan o precisan de los conocimientos científicos proporcionados por aquella.

La más obvia es la **joyería**, en la que los conocimientos gemológicos están presentes desde el proceso de diseño de la joya, que tiene que tener en cuenta las propiedades físicas de las gemas para prever su comportamiento tanto durante la fabricación de la joya, como durante su uso y también en las acciones de conservación, limpieza, reparación o transformación. No se trata sólo de atender al efecto estético, sino también de prever las relaciones de la gema con el resto de materiales de la joya, especialmente el metal, con comportamientos y reacciones muy diferentes a los de los materiales gemológicos. Hay que tener en cuenta, por tanto, sus propiedades mecánicas, la estabilidad frente al calor, comportamiento frente a agentes químicos, ...

La actividad **comercial** de las gemas y joyas con gemas tiene también unas características especiales: son piezas pequeñas, fáciles de transportar pero delicadas y difíciles de identificar. Los conocimientos gemológicos son necesarios para prever y solucionar problemas derivados de dicho transporte:

- Prevención de posibles alteraciones de la gema: el transporte debe realizarse en las condiciones adecuadas para evitar deterioros. A este respecto es importante considerar los tratamientos de la gemas y su estabilidad, ya que las gemas irradiadas pueden cambiar de color en algunas circunstancias.
- Valoración de la gema frente a robos o pérdidas: para ello es precisa una caracterización muy precisa de las gemas que se pueda traducir en el valor económico (tasación) que requiere el establecimiento de un seguro sobre la misma.
- A la hora de reclamar una gema extraviada o sustraída se necesita una identificación individual de la misma, que requiere una caracterización previa con descripción de sus rasgos gemológicos.

La **Arqueología** y el estudio del **Patrimonio** pueden recibir importantes contribuciones de la Gemología, ya que estas disciplinas tratan, con frecuencia, con gemas, incluidas en joyas que constituyen vestigios arqueológicos o forman parte del Patrimonio histórico- artístico. Los conocimientos gemológicos son necesarios tanto

para su restauración y conservación como para su estudio y la obtención de información histórica por medio de ellas.

Todos estos aspectos acaban teniendo repercusiones en la **legislación** a aplicar cuando alguno de estos procesos llega a un tribunal. Es por ello que la legislación necesita utilizar conocimientos gemológicos tanto para dirimir las cuestiones planteadas como para elaborar normativas al respecto. Los problemas con los que se encuentran los juristas en esta situación deriva de dos puntos importantes: por una parte, las técnicas para análisis de gemas no han sido, hasta muy recientemente, capaces de discriminar suficientemente para las necesidades de un proceso jurídico y aún hoy son poco conocidas y sólo están al alcance de unos pocos laboratorios; por otra, no existen consensos sobre definiciones o términos de uso, puesto que no hay una autoridad unánimemente aceptada para ello. Especialmente importante es la existencia de certificados gemológicos, emitidos por laboratorios especializados, algunos de gran reputación y prestigio, pero sin validez legal alguna y que, sin embargo, son de uso común para establecer las calidades de las gemas.