



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**FUNDAMENTOS CIENTÍFICOS Y TECNOLÓGICOS EN LA
ELABORACIÓN DE ALIMENTOS EN GASTRONOMÍA MOLECULAR**

TRABAJO MONOGRÁFICO DE ACTUALIZACIÓN

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
QUÍMICO DE ALIMENTOS**

PRESENTA

EDUARDO VILLANUEVA MÉNDEZ



MÉXICO, D.F.

AÑO 2014



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: MARCOS FRANCISCO BÁEZ FERNÁNDEZ

VOCAL: FRANCISCO JAVIER CASILLAS GÓMEZ

SECRETARIO: RODOLFO FONSECA LARIOS

1° SUPLENTE: VERÓNICA GARCÍA SATURNINO

2° SUPLENTE: LORENA DE ANDA AGUILAR

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

FACULTAD DE QUÍMICA, UNAM

ASESOR DEL TEMA:

RODOLFO FONSECA LARIOS

SUSTENTANTE:

EDUARDO VILLANUEVA MÉNDEZ

Índice de Contenido

Resumen	3
Glosario	4
Introducción	5
Objetivos	8
Metodología	8
Antecedentes	8
Capítulo 1. Técnicas científicas usadas en Gastronomía Molecular	12
Cocción al vacío y a bajas temperaturas	12
Liofilización	14
Destilación al vacío	16
Criococina	17
Carbonatación	18
Azúcar carbonatado (Popping sugar)	19
Capítulo 2. Texturas culinarias (Sistemas coloidales)	21
Emulsiones	23
Espumas	30
Lecitina de soya	40
Alimentos líquidos espesados	41
Geles	48
Transglutaminasa	57
Esferificación	59
Capítulo 3. Texturizantes (Hidrocoloides)	69
Alginatos (E-400)	70
Agar (E-406)	74

Carrageninas (E-407).....	78
Carragenina kappa I y II.....	80
Carragenina iota	82
Carragenina lambda	83
Goma de algarrobo (E-410)	85
Goma guar (E-412)	88
Goma tragacanto (E-413)	90
Goma arábica (E-414)	93
Goma xantana (E-415).....	95
Goma karaya (E-416).....	99
Goma gellana (E-418).....	101
Goma Konjac (E-425)	104
Pectinas (E-440)	106
Pectina de alto metoxilo (HM).....	107
Pectina de bajo metoxilo (LM)	108
Grenetina (E-441)	109
Celulosa microcristalina (MCC o AVICEL) (E-460)	112
Metilcelulosa (E-461)	114
Hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC) (E-464).....	115
Carboximetilcelulosa (CMC) (E-466).....	117
Conclusiones.....	120
Bibliografía	122
Anexo	134

Resumen

La Gastronomía Molecular es una disciplina surgida en 1988 que tiene como principal objetivo estudiar y aplicar algunos fundamentos científicos y parte del extenso conocimiento de la química y la tecnología de alimentos a la cocina con el propósito de innovar tanto en la preparación, como presentación de innumerables alimentos que van a la vanguardia de la gastronomía.

La interacción entre el conocimiento científico y la depuración de las técnicas culinarias, exige comprender aquellos fenómenos y reacciones que se suceden en diversidad de alimentos y bebidas con el fin de mejorar y controlar las propiedades nutrimentales, su calidad microbiológica y potenciar sus atributos sensoriales.

La sinergia entre la Química de Alimentos y el Arte Culinario, implica poseer amplio conocimiento respecto a ingredientes, aditivos alimentarios, procesos de alimentos, técnicas de elaboración y conservación de alimentos con el propósito de obtener algunas creaciones culinarias que serían inalcanzables siguiendo únicamente los métodos usados en la cocina tradicional.

En este trabajo de actualización sobre este tema tan importante desde un punto de vista gastronómico y de negocio, se tiene como objetivo revisar aquellos métodos que son más característicos dentro de la Gastronomía Molecular (esferificación, gelificación, emulsificación, etc.) y abordar los ingredientes y aditivos más importantes que se emplean en la formulación de este tipo de alimentos y bebidas.

Asimismo, se busca establecer los parámetros más adecuados en la elaboración de los alimentos contemplados en esta disciplina y analizar los factores más importantes que pueden influir en la preparación y calidad de este tipo de platillos y bebidas, por ejemplo, caviar falso, mousses, aires, espumas, helados calientes e infinidad de geles.

Finalmente, explicar algunas técnicas y procesos que son aplicados en la Química de los Alimentos (lío-filización, destilación al vacío, uso de nitrógeno líquido, congelamiento, etc.), que progresivamente se han venido implementando en la cocina de los restaurantes más novedosos y con mayor prestigio en todo el mundo.

Glosario

Comportamiento pseudoplástico: propiedad que caracteriza a algunos fluidos donde se presenta una disminución en su viscosidad, al aumentar la velocidad de deformación (Pérez y García, 2010).

Comportamiento tixotrópico: característica de los fluidos donde su viscosidad disminuye al aumentar el tiempo de aplicación del esfuerzo cortante, y en el cual recupera su estado inicial después de un reposo prolongado (Pérez y García, 2010).

Fluido newtoniano: fluido donde existe proporcionalidad entre la fuerza de cizalla y la velocidad de deformación, debido a que mantiene su viscosidad constante (Pérez y García, 2010).

Fluido no-newtoniano: fluido cuya relación entre la fuerza de cizalla y la velocidad de deformación no es proporcional, debido a que la viscosidad no se mantiene constante (Pérez y García, 2010).

Gastronomía Molecular: exploración científica de las transformaciones y los fenómenos culinarios (This, 1988).

pH: índice logarítmico de la concentración de iones hidrógenos y que expresa el grado de acidez o alcalinidad de una disolución acuosa (Sánchez, 2009).

Sinéresis: exudación o liberación de agua causada por un reacomodo interno de las macromoléculas (Badui, 2006).

Sinergia: cooperación de dos aditivos para un mismo fin (Repetto y Repetto, 2009).

Solubilidad: capacidad de una sustancia (solute) de disolverse en otra (disolvente) (Picardo y Álvarez, 2008).

Termorreversibilidad: pérdida de la consistencia de un gel con el calor (Badui, 2006).

Viscosidad: propiedad de un fluido que tiende a oponerse a su flujo cuando se le aplica una fuerza (Pérez y García, 2010).

Introducción

La Gastronomía Molecular no es un ningún estilo específico de cocina, es una disciplina científica creada en 1988 por el físico Nicholas Kurti y el químico Hervé This, que se define como la exploración, desde el punto de vista científico, de las transformaciones y los fenómenos culinarios, con el objetivo de mejorar las propiedades de los alimentos, haciendo uso de ingredientes, aditivos, equipos y técnicas comunes de la industria alimentaria (This, 2009).

Aplica los principios de la química y de la física a la cocina, al examinar cómo los alimentos reaccionan a diferentes métodos de cocción y qué alimentos se combinan bien a nivel químico. En ese sentido, los chefs son capaces de experimentar con nuevas combinaciones de alimentos y métodos para crear menús peculiares con resultados impresionantes. Se trata de investigar y explicar de forma científica las razones detrás de la transformación química de los ingredientes, así como los componentes sociales, artísticos y técnicos (estructura física, composición química, bioactividad) de fenómenos culinarios y gastronómicos en general (This, 2009; Cassar, 2013).

Ésta rama de la ciencia de alimentos ha tenido una amplia aceptación dentro de las cocinas de los restaurantes más afamados del mundo (y México no ha sido la excepción), de ahí su creciente interés.

La Gastronomía Molecular se divide, según su aplicación, en dos categorías. En primer lugar, la aplicación de la ciencia y tecnología en restaurantes, hogares e incluso, la industria alimentaria. En segundo lugar, están las aplicaciones educativas de la cocina modernista, lo que ha permitido el estudio y aprendizaje científico de los procesos culinarios, sobre todo, en las escuelas de cocina de Europa (This, 2009).

La nueva subdisciplina provocó la toma de conciencia entre los chefs de entender, de forma racional, lo que ocurre al preparar sus platillos, lo que llevo a algunos (con el apoyo de científicos especializados en alimentos) a experimentar con la incorporación de ingredientes y técnicas comunes en la industria de alimentos, con

el fin no sólo deleitar los paladares de los comensales, sino también evocar emociones y estimular todos los sentidos (Vega y Ubbink, 2008; Yek y Strume, 2008; McCormick y Prokes, 2009). Con ello, estos chefs han logrado crear platillos que desafían las preconcepciones de lo que la comida debe ser y permiten poner más atención a lo que comemos (Vega y Ubbink, 2008; Cassar, 2013).

Varios aditivos alimentarios usados en la industria alimentaria (debido a sus propiedades funcionales) están teniendo una importante adopción dentro en la alta cocina de forma lenta, pero progresiva, en parte por las dudas que aún tienen los chefs acerca de la seguridad de su uso, a pesar del origen natural de las materias primas (marino, vegetal, animal o microbiano) (This, 2002; Cassar, 2013). Por ejemplo, los hidrocoloides, se utilizan ahora en la cocina con el fin de desarrollar texturas especiales (gelificación, esferificación, espesamiento) que no alteran la composición sensorial de los alimentos empleados. Al mismo tiempo, una amplia gama de herramientas conocidas de la tecnología de alimentos han encontrado su lugar en la cocina de forma miniaturizada (Vega y Rockville, 2008).

Otras herramientas se han introducido para permitir la creación de texturas novedosas que no se pueden hacer usando utensilios de cocina convencionales. Por ejemplo, mediante el uso de nitrógeno líquido o de congelación-molienda, los ingredientes que son suaves y dúctiles en condiciones normales pueden ser convertidos en polvos fríos muy finos (por ejemplo, salsa de soya o nieve de foie gras) que se sirven ya sea directamente o en combinación para la preparación de algunos platillos especiales (Cassar, 2013).

Los homogeneizadores y mezcladores de alta velocidad (dispersores) también se han utilizado para este propósito, pero estas herramientas también se utilizan para facilitar la producción de algunos alimentos un poco más convencionales (Cassar, 2013).

Muchas de las técnicas antes mencionadas se han introducido en la cocina a través de ensayo y error. Algo que se debe tener en cuenta es que, a partir de la tecnología de alimentos, no sólo herramientas o ingredientes se transfieren al dominio

gastronómico, sino que también los procesos de trabajo se optimizan más (Vega, Ubbink, 2008).

El potencial de la Gastronomía Molecular es enorme y está revolucionando no sólo la cocina tradicional y la industria restaurantera, sino también está transformando a la alimentación en una nueva experiencia emocional y sensorial (Cassar, 2013).



Figura 1. Helado de miel y tomate maduro con crema de frambuesa y albahaca (Sosa, 2013)

Objetivos

- Describir los procesos tecnológicos más característicos que se aplican en la Gastronomía Molecular.
- Realizar una compilación bibliográfica de aquellos ingredientes y aditivos alimentarios más importantes que se emplean en esta disciplina científica, haciendo énfasis en sus propiedades y funcionalidad.
- Establecer algunos de los parámetros más adecuados para la elaboración de los alimentos más representativos en la Gastronomía Molecular.
- Analizar los factores más importantes que pueden influir en la preparación y calidad de este tipo de platillos y bebidas.

Metodología

Se realizó una revisión bibliográfica exhaustiva en libros, artículos científicos, revistas indizadas de renombre, información de proveedores de materias primas y páginas de internet fidedignas de carácter científico y gastronómico. Para ello, se revisó, identificó, clasificó y analizó la información más relevante desde el nacimiento de la Gastronomía Molecular hasta nuestros días, poniendo especial énfasis en aquellas publicaciones editadas a partir del año 2008, en donde este tipo de investigaciones y estudios han cobrado un mayor auge industrial.

Antecedentes

A partir de finales del siglo XVIII se dio inicio a la comprensión científica de los procesos inherentes de la preparación de los alimentos (This, 2002). Sin embargo, la irrupción de la Revolución Industrial en la producción de los alimentos, provocó que el estudio de los mismos se centrara más en la modificación, conservación y producción en masa, que en el estudio de los fenómenos que suceden dentro de la cocina (Vega y Ubbink, 2008; Yek y Strume, 2008). Lo anterior causó un claro distanciamiento entre la industria de alimentos y las artes culinarias, ya que la

primera empleaba el método científico, mientras que las segundas siguieron empleando el empirismo y la práctica de creencias sin mayor fundamento (This, 2002).

Esto fue cambiando al término de la Segunda Guerra Mundial, cuando dietistas, nutriólogos y expertos en alimentación comenzaron a hacerse escuchar en los círculos gastronómicos, principalmente en Francia (Cousins, O’Gorman y Stierand, 2009).

En 1969 el físico húngaro Nicholas Kurti, quien tuvo un interés muy grande en entendimiento científico de las transformaciones culinarias, presentó ante la Royal Society (Londres, Reino Unido) la conferencia *The Physicist in the Kitchen* (El Físico en la Cocina); comenzó su discurso con una frase que reflejaba la situación que se vivía en ese momento: "con una profunda tristeza, pienso en nuestra civilización, pues mientras estamos midiendo la temperatura en la atmósfera de Venus, ignoramos la temperatura dentro de nuestros soufflés" (Kurti, 1988). A partir de ese momento, Kurti (con la posterior incursión del químico francés Hervé This) inició una serie de estudios, experimentos y trabajos que buscaron darle un enfoque científico a la cocina, al investigar las transformaciones fisicoquímicas que en ellas ocurren. Ello dio origen en el año 1988, a una nueva disciplina: la Gastronomía Molecular (This, 2006).

El término (Gastronomía Molecular y Física hasta 1998), fue usado a raíz de una serie de talleres bienales impartidos por This y Kurti desde 1992 a chefs de élite y científicos, en Erice, Italia; ahí, se trataban los aspectos fisicoquímicos de la cocina, discutían el interés de la aplicación en los restaurantes de técnicas hechas por los científicos de alimentos (secado, licuefacción, gasificación, congelación, gelificación, etc.) y pensaban como transformar ingredientes en nuevas formas y texturas sorprendentes, manteniendo los sabores inherentes de los platillos (This, 2002; This, 2006; McCormick y Prokes, 2009; Cassar, 2013). La elección de dicho nombre se debe, en primera instancia, a la definición de la gastronomía, la cual se define como "el conocimiento razonado de todo lo que se refiere a la alimentación del hombre" (Brillat-Savarin, 1825), mientras que el epíteto de molecular, fue elegido

para limitar el alcance de esta nueva iniciativa científica en la gastronomía (This, 2006).

No obstante, el uso del término ha sido objeto de confusión (con respecto a la química de alimentos) y mucha polémica, al haber sido mal interpretado por los medios de comunicación, pues lo refieren simplemente como la aplicación por parte de los chefs hacia sus cocinas de técnicas desarrolladas en el ámbito científico, quedando por lo tanto el estereotipo de ser sólo un movimiento culinario, un conjunto de técnicas sofisticadas de cocina o una estrategia de marketing por parte de los restaurantes (Blanck, 2007; Cassar, 2013). De hecho, para el público en general (incluidos los científicos de alimentos), la Gastronomía Molecular se reduce simplemente a "porciones pequeñas con una linda presentación" (Vega y Ubbink, 2008). Incluso, los principales chefs (Adriá, Blumenthal) cuyos nuevos conceptos de alta cocina han llegado a ser asociado con este tipo de gastronomía, rechazan el uso del término en cuestión y prefieren nombres como "cocina tecno-emocional", "cocina modernista", "cocina experimental", "cocina de vanguardia" o "deconstrucción de alimentos" (Cousins, O'Gorman y Stierand, 2009; Potter, 2010; Cassar, 2013).

En virtud de lo señalado, ha sido necesario definir claramente qué es la Gastronomía Molecular. Hervé This la define como "la química y la física detrás de la preparación de cualquier alimento o platillo" (This, 2006). Otros la definen como la "la cocina basada en la ciencia". Este último concepto, se refiere a la aplicación consciente de los principios y herramientas de la ciencia de los alimentos y de otras disciplinas para el desarrollo de nuevos platos, sobre todo en el contexto de la alta cocina (Vega y Ubbink, 2008).

La Gastronomía Molecular también es consecuencia de una creciente demanda de alimentos innovadores, nutritivos e inocuos por parte de los consumidores, los cuales, mantienen altas expectativas al respecto. Esas mismas expectativas, han obligado por un lado, a un aumento en el nivel de habilidades de los chefs en la cocina y por otro, a que la industria de alimentos desarrolle nuevos productos con un valor agregado. Por lo tanto, es necesaria una mayor interacción entre chefs y

científicos de alimentos, que permita una formación más científica y culinaria, respectivamente, y en ese sentido, esta disciplina es un buen punto de partida (Vega y Ubbink, 2008).

Para poder lograr un estudio más adecuado de la disciplina, fue necesario describir, en un lenguaje sencillo, los sistemas coloidales que forman parte de la mayoría de los platillos, por lo que Hervé This ideó el sistema CDS/NPOS (sistema disperso complejo/ organización no periódica del espacio), donde emplea símbolos G (gas), O (aceite), W (agua), S (sólido), etc. y operadores (/, +), favoreciendo así la preparación de los alimentos (This, 2009).

Los principales restaurantes en el mundo ofrecen ejemplos de cómo un enfoque sistemático (basado en la ciencia) en dirección a la cocina y los procesos creativos, pueden conducir a la creación de excelentes platillos. Ejemplo de ello son el restaurante británico “The Fat Duck” (del chef Heston Blumenthal), el francés “Pierre Gagnaire” (de Pierre Gagnaire), el estadounidense “Alinea” (de Grand Achatz), el brasileño “D.O.M.” (de Alex Atala) y el recientemente desaparecido español “elBulli” (del mundialmente famoso Ferrán Adriá), donde inclusive, existía una cocina de investigación y personal dedicado casi por completo a la creación de nuevos platillos y técnicas muy novedosas para su confección (Vega y Ubbink, 2008).

En México los mayores exponentes son los restaurantes “Pujol”, de Enrique Olvera, y “Biko”, de Mikel Alonso. Todos los restaurantes mencionados son considerados por diversas fuentes (Guía Michellín, 2013; The World’s 50 Best Restaurants, 2013) como algunos de los mejores del mundo.

Muchas de las técnicas que se basan en el uso de aditivos alimentarios se originaron en Europa. El chef Ferrán Adriá, es considerado por muchos como el creador de la mayor parte de la alta cocina moderna y fue quien popularizó el movimiento de la Gastronomía Molecular en todo el mundo, gracias a sus famosas espumas y caviar falso. Restaurantes, como el del chef Heston Blumenthal “The Fat Duck” en el Reino Unido, también ha establecido una reputación internacional para ampliar los límites de la comida (Vega y Ubbink, 2008).

Capítulo 1. Técnicas científicas usadas en Gastronomía Molecular

La mayoría de las técnicas usadas dentro de la cocina emplean calor, mejorando sustancialmente la inocuidad y percepción sensorial de los alimentos, aunque también pudiese presentarse una disminución en el valor nutricional. No obstante, existen varias maneras de preparar los alimentos en las cuales no se utilice calor, al menos no de manera convencional. Desde la cocción al vacío y aún a bajas temperaturas, pasando por la liofilización y la crio-congelación. Actualmente los chefs modernistas han estado explorado más allá de lo que se hace comúnmente en las cocinas, no sólo para satisfacer la necesidad de comer, sino incluso, extraer y concentrar el sabor, cambiar la percepción al paladar y no menos importante, conservar lo mejor posible, los nutrimentos que los alimentos poseen.

Inspirados en las técnicas, instrumentos y herramientas que los científicos utilizan, los chefs han encontrado diversas maneras de aplicar directamente estos equipos en su cocina, como los rotovapores, liofilizadores y baños de agua con termostato para resolver problemas culinarios y crear efectos especiales en los alimentos. Incluso, se han atrevido a experimentar con ingredientes como el nitrógeno líquido y aditivos tan novedosos como el azúcar carbonatado.

Cocción al vacío y a bajas temperaturas

La cocción es la modificación de las propiedades de un alimento por medio de la aplicación de un tratamiento térmico. En el caso de la cocción clásica en un medio acuoso, la temperatura es ligeramente superior a la del punto de ebullición del agua (100 °C a 1 atm), debido al aumento ebulloscópico (ascenso del punto de ebullición), generado por la presencia en el medio acuoso de sales y otros componentes disueltos. En cambio, utilizando recipientes a presión, la temperatura de cocción es aún superior; y puede alcanzar hasta los 121 °C. Mientras que la cocción en baños de aceite (freído como en el caso de las frituras) la temperatura oscila entre los 160 y 190 °C o incluso más, dependiendo del aceite empleado (Mans y Castells, 2011).

A estas temperaturas, se produce la desnaturalización de las proteínas, ya sea por el calor o por la acidez propia del medio. Además, las condiciones de esta cocción favorecen la reacción de Maillard (reacciones químicas producidas entre proteínas y azúcares), con lo cual, hay una modificación significativa en el color, aroma y el sabor del alimento (Mans y Castells, 2011).

En un proceso de cocción a baja temperatura, se pretende llegar a la temperatura de desnaturalización de las proteínas, pero no tan alta como para que se produzca reacción de Maillard (entre 50 y 100 °C). Este método llamado también cocción al vacío, suele hacerse con alimentos crudos dentro de una bolsa de algún polímero termorresistente, en ausencia total o parcial de aire (por debajo de 5 kPa). El alimento suele estar seco o llevar consigo algún tipo de líquido de cocción para mejorar su sabor (Mans y Castells, 2011).



Figura 2. Caldo de pescado (variedades de pescado + aceite + vermú + zanahoria + vino blanco + cebolla + hinojo + puerro + ajo + cilantro + anís) embolsado herméticamente (Smith y Myhrvold, 2011)

La cocción se lleva a cabo en un baño de agua con termostato o Roner; asimismo, se puede usar un horno de vapor con control de temperatura. Un equipo alternativo al Roner es la Gastrovac, que al producir un vacío continuo ofrece una nueva perspectiva. Las presiones a las que se puede trabajar llegan a unos 20 kPa (20 % de la presión atmosférica); a dicha presión, el agua hierve a 60 °C. Además el aparato permite freír a una temperatura de 90 °C (Castells, 2010).



Figura 3. Filetes de atún embolsados y sumergidos en un baño de agua con termostato (Smith y Myhrvold, 2011)

Liofilización

La liofilización es una operación unitaria de transferencia simultánea de calor y materia. Ésta es la vaporización del agua libre de un alimento por sublimación. Se requiere para ello que la sustancia esté congelada y que el entorno tenga una presión de vapor de agua muy reducida. Se trabaja a -40 °C, con una suave calefacción al vacío (27-133 Pa) y posterior condensación del vapor de agua obtenido (550 kcal/kg). Al final se obtiene un producto muy seco, de volumen similar, con una masa reducida y con una apariencia de un vidrio altamente poroso (Flesia, 2009; Mans y Castells, 2011).

La liofilización es empleada desde los años 60 en la industria de alimentos como método de conservación, ya que detiene el crecimiento de los microorganismos y ralentiza los procesos de degradación química, como consecuencia del abatimiento del a_w . Otra característica es que no existe la necesidad de conservar la cadena de frío. Una ventaja destacable es que no hay una pérdida de las propiedades sensoriales de los alimentos, al no haber alteración de los compuestos termosensibles ni pérdida de compuestos volátiles. Su aplicación se centra en productos cárnicos, quesos, frutas, vegetales, café, salsas y sopas, orientando en un principio para consumo de montañistas, militares y astronautas, aunque esa situación ha sido revertida, alcanzando al público en general. La reconstitución del alimento requiere solo su mezcla con agua (Parzanese, 2012).



Figura 4. Diversos alimentos liofilizados (Smith y Myhrvold, 2011)

Ferrán Adrià fue pionero en el uso de la liofilización, con el objetivo de realizar platos con sabores muy limpios y concentrados. Naturalmente, los chefs especializados en la Gastronomía Molecular fueron adoptando este método para desecar alimentos. Desafortunadamente, las desventajas de esta técnica son las dificultades de su aplicación culinaria y su costo, pues se requiere un liofilizador, equipo que difícilmente puede ser costado por un restaurante (Mans y Castells, 2011).

Destilación al vacío

Esta técnica, tan frecuente en los laboratorios químicos, se ha introducido con éxito en los restaurantes, gracias a los trabajos del chef Joan Roca y el rotavapor o Rotaval, su versión culinaria. Dicho aparato consiste en un matraz destilador rotatorio acoplado a una bomba de vacío, un baño calefactor y un condensador de los vapores destilados. El equipo sirve tanto para destilar, como para concentrar. El vacío continuo hace que la ebullición se produzca a una temperatura inferior a la que tiene lugar a presión atmosférica. La rotación del matraz permite una ebullición uniforme, así como facilitar un concentrado homogéneo (Mans, 2010).

A bajas temperaturas y a muy bajas presiones se obtiene un vapor destilado que, una vez condensado, concentra los componentes más volátiles del producto original, entre ellos buena parte de su aroma fresco. Ello permite extraer sustancias aromáticas y sin que haya una pérdida significativa por degradación térmica (Castells, 2011).



Figura 5. Extracción de té de hibisco (Smith y Myhrvold, 2011)

Criococina

La criococina es el arte de “cocinar” con nitrógeno líquido. Esta técnica original, que permite recrear nuevas texturas insólitas, fue propuesta en 1996 por Hervé This. Antes de terminar la década, Heston Blumenthal y Michel Bras empezaron a investigar sus posibilidades y en los años sucesivos su uso se ha extendido hasta convertirse en uno de los paradigmas de la Gastronomía Molecular (García, 2004).



*Figura 6. Aplicación de nitrógeno líquido a copas de Martini de rosas (ginebra + vermú seco + pétalos de rosa + nitrógeno líquido)
(Tomostyle, 2010)*

El nitrógeno líquido es un fluido criogénico (-196 °C) utilizado en la industria de los alimentos para enfriar, congelar y almacenar productos alimenticios mediante inmersión o aspersión. Permite detener procesos microbiológicos y enzimáticos, mejorando sustancialmente la vida de anaquel (Cassar, 2013).

Cuando un alimento se congela, el agua que contiene se cristaliza, lo que daña las membranas celulares. Como resultado, las propiedades sensoriales (textura, sabor)

y nutritivas se ven alteradas. Sin embargo, cuando se emplea el nitrógeno líquido, este enfriamiento es mucho más rápido, formándose cristales de hielo tan pequeños, que se preserva la integridad del alimento (Cassar, 2013).

Los chefs modernistas aplican el nitrógeno líquido para elaborar espumas frías, helados instantáneos con excelente cremosidad y platillos con contrastes frío-calor (superficie congelada e interior caliente) y de oposición “sólido por fuera y líquido por dentro”. En confitería, el uso más habitual es el de obtener productos con un interior líquido a temperatura ambiente, recubiertos por una fina película exterior. Igualmente se aplica para congelar bebidas alcohólicas (a $-114\text{ }^{\circ}\text{C}$), lo que permite hacer cócteles originales que no serían factibles con las técnicas de congelación tradicionales (Cassar, 2013).

Su manipulación debe ser cuidadosa ya que bajas temperaturas pueden provocar, al contacto con la piel, severas quemaduras por frío (Mans y Castells, 2011).

Carbonatación

La carbonatación es un proceso que consiste en disolver en una bebida o alimento líquido CO_2 a altas presiones o adicionando hielo seco (dióxido de carbono a $-78.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a 1 atm). Diluido y presurizado, el dióxido de carbono se encuentra en forma de ácido carbónico (H_2CO_3), el cual, al ser despresurizado se convierte en gas, debido a la baja solubilidad de éste en agua. La liberación de ese gas (en forma de pequeñas burbujas) a través del líquido que lo contiene, se conoce como efervescencia. Aquí la reacción química en cuestión:



El término efervescencia, de origen latín, se deriva del verbo Fervere, precedido por el adverbio ex, lo que significa “hervir” (Cassar, 2013).



Figura 7. Esferas de mojito carbonatado (ron blanco + jugo de lima + hojas de menta + azúcar + CO₂ + ácido ascórbico + goma xantana + alginato de sodio + lactato de calcio) (Smith y Myhrvold, 2011)

Azúcar carbonatado (Popping sugar)

El azúcar carbonatado está hecho de pequeños cristales de azúcar que se han carbonatado con dióxido de carbono (0.5-2.5 ml por gramo de azúcar). Fue creado en 1956 por William A. Mitchell, científico de General Foods (Kremzner y William, 1961). El proceso de su elaboración consiste en fundir los azúcares (sacarosa, lactosa y glucosa), colorantes y saborizantes a 149 °C. El jarabe pasa a un reactor que gasifica el jarabe con CO₂ a una presión de 6079 kPa, formándose pequeñísimas burbujas dentro del líquido. Posteriormente se deja enfriar hasta que

se solidifica, obteniéndose una gran masa de caramelo con minúsculas burbujas. Al solidificar el caramelo, el gas queda atrapado dentro en pequeñas burbujas cuya presión interior es mayor que la presión atmosférica ambiental, de modo que la masa de caramelo se rompe en mil pedazos dando lugar a pequeñas piezas irregulares una vez extraído del reactor (Cassar, 2013; Cuisine Innovation, 2013).

Cuando el azúcar carbonatado se disuelve en medio acuoso se libera el CO₂ atrapado, produciendo efervescencia. Es por ello, que a medida que el azúcar se pone en contacto con la saliva (solución acuosa) o es mordida, se desprende el CO₂, generando sonido y una sensación de explosión y hormigueo en la boca (Kremzner y William, 1961).

En soluciones lipídicas el azúcar carbonatado es insoluble, por lo tanto, al no haber liberación de gas, se puede usar ventajosamente en alimentos con alto contenido de lípidos, como chocolate, helado o foie gras (Cassar, 2013; Cuisine Innovation, 2013).



Figura 8. Fresas bañadas de chocolate blanco y azúcar carbonatado (Paste Magazine, 2013)

El consumo de CO₂ como aditivo alimentario no presenta ningún riesgo conocido. No hay nivel de ingesta diaria admisible ni reacciones adversas. Debido al contenido de lactosa en la formulación (pues mejora la carbonatación de la sacarosa), no puede ser consumido por personas que presentan intolerancia a dicho disacárido (Kremzner y William 1961; Cuisine Innovation, 2013).

Capítulo 2. Texturas culinarias (Sistemas coloidales)

En la jerga de los chefs modernitas, el término “texturas” es un neologismo utilizado para referirse a la modificación de la consistencia al paladar de los alimentos, mediante la adición de ingredientes y/o aditivos (Sosa, 2013). No obstante, el uso del término no está exento de polémica, pues textura, desde el punto de vista gastronómico, se define como: “propiedades físicas (densidad, viscosidad, tensión superficial, dureza, etc.) de un producto alimentario que le otorgan unas características perceptibles para los sentidos, sobre todo para el tacto” (McGee, 2010).

Ese cambio en la textura de los alimentos depende de la viscosidad, el tamaño de partícula, la concentración de sólidos solubles en solución, la presencia de materia grasa (imposición de su propio sabor, alteración de la liberación de otros sabores), además de otros factores (Myhrvold, Young y Bilet, 2011).

La creación de texturas se remota a los orígenes de la cocina misma, no obstante, desde el surgimiento de la Gastronomía Molecular, se ha hecho uso de los aditivos usados en la industria en alimentos (sobre todo hidrocoloides), en la búsqueda de sistemas coloidales para sus platillos, pues estos aportan claras ventajas (nula o poca alteración de las propiedades sensoriales, alta efectividad), con respecto a otros ingredientes comunes dentro de la cocina. A pesar de lo anterior, fue a partir de las creaciones del chef Ferrán Adrià y su restaurante elBulli, que los chefs comenzaron a tener un interés mayúsculo en estos aditivos y en los coloides alimentarios que se lograr producir (geles, bebidas y alimentos líquidos espesados,

emulsiones, espumas), alcanzando la admiración de los comensales y su fama en la prensa (Mendoza y Calvo, 2010; Sosa, 2013).

Desde el punto de vista de la química de alimentos, la obtención de texturas se traduce en la obtención de sistemas coloides alimenticios.

Los sistemas coloidales son uniones forzadas de dos fases inmiscibles, que permiten conformar un sistema heterogéneo con un tamaño de partícula entre 1 y 100 nm (Tadros, 2013). En dispersiones gruesas (otra clase de sistema heterogéneo), el tamaño de partícula supera los 100 nm y de hecho, tiende a sedimentarse (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002; Mendoza y Calvo, 2010).

Una de las fases es continua (medio dispersante), mientras que la otra es la discontinua (fase dispersa). Inclusive, pueden existir más de dos fases, lo cual se conoce como sistemas coloidales complejos. Los sistemas coloidales (excepto los sistemas liófilos) son termodinámicamente inestables, ya que la energía libre de formación de las fases dispersas es positiva (la energía libre interfacial, que es positiva, es mayor que la entropía de la dispersión que también es positiva) (Tadros, 2013). Su estabilidad cinética está en función de la temperatura, el pH, la fuerza iónica y la fuerza mecánica.

Para lograr la estabilidad coloidal, es necesario incorporar un emulsificante, el cual es un agente tensoactivo que aporta a las partículas del soluto cargas eléctricas iguales, para favorecer la repulsión entre ellas y así, imponerse sobre las fuerzas atractivas de Van der Waals y las colisiones producidas por el movimiento Browniano, logrando evitar de este modo la desestabilización (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002). También les brindan una película protectora (gracias a su bipolaridad) que abate la tensión interfacial (Mendoza y Calvo, 2010).

Los sistemas coloidales se clasifican con base en el estado de la materia (sólido, líquido, gas) de la fase dispersa y la fase dispersante. Se divide en sólidos, líquidos y gases dispersos en una suspensión (sol-gel), emulsión o espuma (Mendoza y Calvo, 2010).

Emulsiones

Una emulsión es una dispersión coloidal constituida por dos líquidos inmiscibles entre sí, donde uno de ellos se encuentra uniformemente distribuido en forma de micelas (fase discontinua), con un tamaño de partícula entre 0.1 y 10 μm , disperso en otro líquido (fase continua), el cual está estabilizado por un agente emulgente (agentes tensoactivos o proteínas) el cual, gracias a su carácter anfipático, facilita la formación de la emulsión y ayuda a retrasar la separación de las fases. No obstante, la acción de los agentes emulsificantes en las emulsiones alimenticias está determinada la temperatura y viscosidad del medio, así como las barreras electrostáticas y el recubrimiento interfacial (Narsimhan, 1992; Rodríguez, 2008).

Las emulsiones pueden ser clasificadas, dependiendo del tamaño de las gotas de la fase dispersa, en macroemulsiones (0.2-50 μm) y microemulsiones (10-200 nm). Si el tamaño de las micelas es de 1 μm , la emulsión presenta un aspecto lechoso, mientras que entre 0.1 a 1 μm se aprecia blanco-azulado, pasando a gris transparente cuando el tamaño es de 0.1 a 0.05 μm , llegando a ser transparente en cuando es menor a 0.05 μm (Rodríguez, 2008).

Generalmente, las emulsiones son fluidos no-newtonianos, que poseen una viscosidad superior a la de sus constituyentes por separado. A altas viscosidades y a baja fuerza de corte, las emulsiones se comportan como sólidos (Myhrvold, Young y Bilet, 2011).

Para poder formar la emulsión es necesaria la aplicación de fuerza, ya que así se logra disminuir la tensión interfacial y de este modo, dispersar al soluto. El uso de emulsificantes ayuda a cumplir con esa función, permitiendo disminuir la cantidad de trabajo necesario (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002).

Al no ser las emulsiones un sistema termodinámicamente ideal, éstas tenderán a reorganizarse hacia su estado basal, donde la tensión interfacial es mínima, por lo tanto, las fases consecuentemente se separarán. De hecho, existen diferentes fenómenos que favorecen la separación de fase. Uno de ellos es la floculación, donde hay adhesión entre las gotas del soluto sin que se produzca una fusión, por

medio de un equilibrio entre las fuerzas de van der Waals (fuerzas atractivas) y las fuerzas de tipo estéricas y de hidratación (fuerzas repulsivas) (Hernández, 2009).

La coalescencia es otro mecanismo de desestabilización, la cual ocurre cuando las gotas se unen entre ellas, para dar lugar a estructuras de mayor tamaño. El fenómeno en fases avanzadas logra separar por completo las fases de la emulsión (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002).

Otros fenómenos que pueden ocurrir son la sedimentación y el cremado (o afloramiento), ambos causados por la diferencia de densidad de los fluidos. En la sedimentación, las partículas de la fase discontinua precipitan, mientras que en el cremado ocurre lo contrario; ambos están sujetos a la ley de Stokes, por lo que se puede actuar sobre el tamaño de partícula (usando métodos mecánicos) o modificando la densidad de alguna de las fases, lo que mejora la estabilidad coloidal (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002).

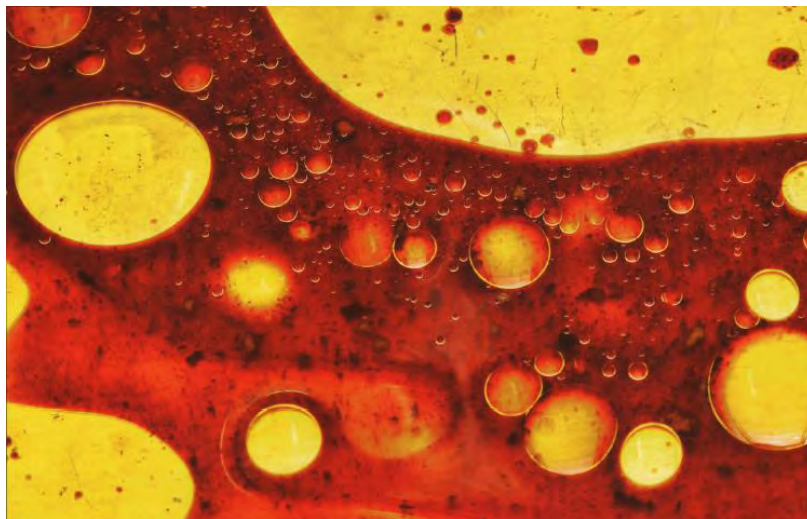


Figura 9. Coalescencia de una emulsión O/W (Smith y Myhrvold, 2011)

Por último, está la maduración de Ostwald, donde las gotas más grandes crecen a costa de las más pequeñas, hasta que estas últimas prácticamente desaparecen (Hernández, 2009). Si bien las emulsiones alimenticias comúnmente no son afectadas por este fenómeno, si se observa en algunas emulsiones alcohólicas (licores de crema, anís) (Myhrvold, Young y Bilet, 2011).

En los alimentos, la mayoría de las emulsiones están compuestas por una fase acuosa y una fase lipídica. Según la concentración de los mismos, si la fase dispersa es lipofílica y la fase discontinua es hidrofílica, encontramos emulsiones de aceite en agua (O/W), por el contrario, si la fase dispersa es hidrofílica y la fase discontinua es lipofílica, o un material oleaginoso, la emulsión es de agua en aceite (W/O). También pueden existir emulsiones múltiples, la cual es una emulsión que a su vez se encuentra emulsificada dentro de una fase continua, por lo que la fase dispersa es una emulsión (O/W o W/O) y la fase continua es un medio acuoso (W/O/W) o lipídico (O/W/O). En ocasiones, incluso puede generarse una inversión de fases (O/W a W/O) o viceversa (Rodríguez, 2008).

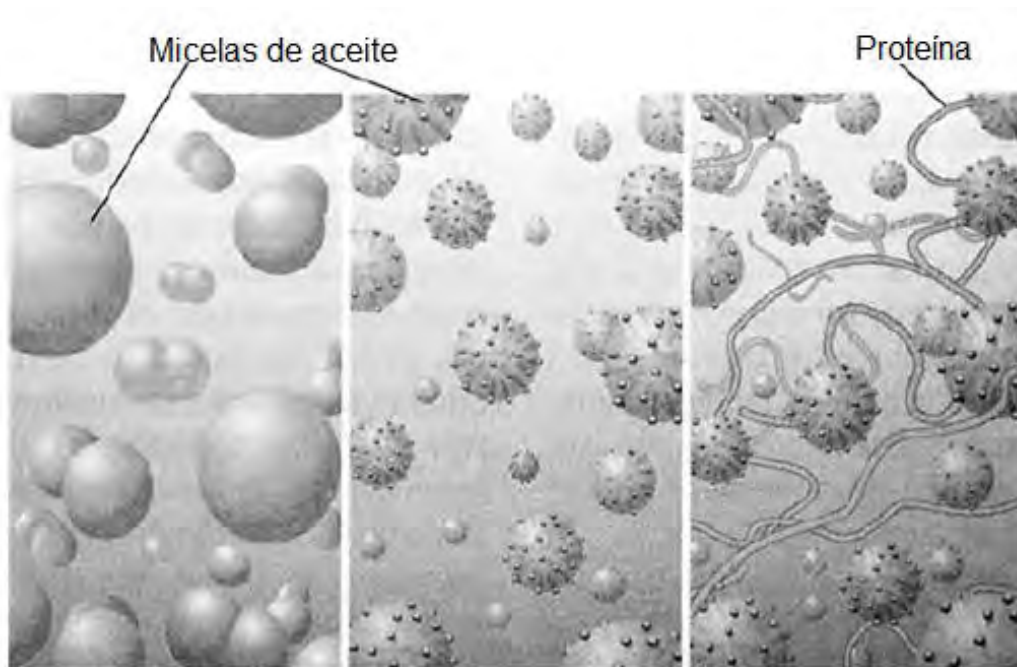


Figura 10. Emulsiones estables e inestables (Editado de On Food and Cooking. McGee, 2004)

Cuando el aceite es dispersado en una disolución acuosa, las micelas de aceite resultantes tienden a unirse entre sí, lo que da lugar a la separación de las fases, quedando una capa en la parte superior del agua (izquierda). Cuando se adiciona a la solución un

agente emulsionante, éste alinea su parte lipofílica con la fase dispersa (en este caso, la fase lipídica), dejando su lado polar (hidrofílico) en contacto con el agua. De esta manera, las gotas de aceite se repelen entre sí en lugar de haber coalescencia (centro). Por otro lado, la presencia en la emulsión de las macromoléculas solubles en agua, como el almidón y las proteínas, ayudan a estabilizar las emulsiones mediante el bloqueo de las micelas de aceite entre sí (derecha) (McGee, 2004).

Los alimentos emulsionados se caracterizan por su textura cremosa y su inusual liberación de sabor (Myhrvold, Young y Bilet, 2011). Por ello, no es de extrañar la amplitud de su uso (empírico mayoritariamente) en la cocina, sobre todo, haciendo uso de la yema de huevo, que aporta estabilidad a las emulsiones, gracias al contenido de fosfolípidos que tiene, principalmente la lecitina y las proteínas que están presente en ésta. Ejemplo de lo anterior es la mayonesa y salsa holandesa (Myhrvold, Young y Bilet, 2011).

Otro agente emulsionante común son las caseínas, la cual se encuentra de forma natural en la leche (que en sí misma, es una emulsión), siendo útil en la elaboración de alimentos como la mantequilla, la crema y el chocolate.

Dada la complejidad de las emulsiones, la industria alimentaría hace uso de una amplia variedad de surfactantes (emulsionantes que reducen la tensión superficial, lo que restringe la coalescencia) y agentes estabilizadores para mantener su estabilidad. No falta decir que la Gastronomía Molecular los ha adoptado (así como homogeneizadores ultrasónicos y de alta presión) en sus creaciones culinarias, los cuales no podrían lograrse con los estabilizadores usados en la cocina tradicional, como la leche o el huevo (Tadros, 2013).

Tabla 1. Estabilizadores de emulsiones utilizados en Gastronomía Molecular

Agente estabilizador	Conc. típica (%m/m)	Aplicación	
		En frío	En caliente
Agar	0.1-1.0	✓	✓
Alginato de sodio	0.1-0.5	✓	✓
Almidón pregelatinizado	1-5	✓	✓
Carrageninas	0.05-1.00	✓	✓
Goma gellana	0.01-0.06	✓	✓
Goma guar	0.1-0.6	✓	✓
Goma xantana	0.1-0.5	✓	✓
Grenetina	0.2-2.0	✗	✓
Jarabe de glucosa DE 40	2-10	✗	✓

ADAPTACIÓN DE LA TABLA EMULSION STABILIZERS, DEL LIBRO MODERNIST CUISINE, VOLUME 4 · INGREDIENTS AND PREPARATIONS, 2011.



Figura 11. Cuajado de cítricos sin huevo (limón + toronja + lima + miel + azúcar + sal + mantequilla + alginato de propilenglicol)
(Smith y Myhrvold, 2011)

De todos los surfactantes disponibles, el alginato de propilenglicol es el más usado, ya que es amplia su disponibilidad y su espectro de uso es grande (Myhrvold, Young y Bilet, 2011).

Tabla 2. Agentes surfactantes utilizados en Gastronomía Molecular

Grupo	Emulsificante	Valor HLB	Tipo	Conc. típica (%m/m)
Monoglicéridos y diglicéridos	Estearoil lactilato de sodio	2.6	W/O	2-6
	Monooleato de glicerol	3.4	W/O	
	Mono y diglicéridos de ácidos grasos	3.6-4.2	W/O	
Ésteres de sorbitán	Triestearato de sorbitán	2.1	W/O	1-8
	Monoestearato de sorbitán	4.3	W/O	0.3-0.7
Polisorbatos	Polisorbato 60	14.9	O/W	1-7
	Polisorbato 80	15	O/W	
	Polisorbato 20	16.7	O/W	
Ésteres de propilenglicol	Monoestearato de propilenglicol	3.4-3.5	W/O	0.5-12.0
	Alginato de propilenglicol	8.3	O/W	0.4-1.0
Ésteres de poliglicerol	Polirricinoleato de poliglicerol	4.3	W/O	0.03-1.00
Fosfolípidos	Lecitina	3.5	W/O	1-5
	Lecitina desengrasada	4.5	W/O-O/W	1-5 W/O; 5-10 O/W
Goma arábiga	Goma arábiga	11	O/W	0.5-10

ADAPTACIÓN DE LA TABLA MODERN SURFACTANT EMULSIFIERS, DEL LIBRO MODERNIST CUISINE, VOLUME 4 · INGREDIENTS AND PREPARATIONS, 2011.

Además, se han creado criterios para ayudar a seleccionar adecuadamente el tipo de emulsionante a aplicar, destacando entre ellos, el equilibrio hidrófilo-lipófilo (HLB) y la regla de Bancroft, aunque estos parámetros se limitan a las emulsiones simples, quedando descartadas las emulsiones en donde las proteínas, almidones y/o azúcares, ya que estos modifican la estabilidad coloidal (Tadros, 2013).

La regla de Bancroft (empírica) indica que dependiendo de la afinidad del agente emulgente, así será la naturaleza de la emulsión. Por ello, una emulsión O/W se produce cuando el emulgente es más soluble en la fase acuosa que en la oleosa, y viceversa (Rodríguez, 2008).

En 1949, W. C. Griffin ideó una escala arbitraria (de 0 a 40) semi-empírica para reflejar el coeficiente de reparto de los surfactante (por su naturaleza anfipática), al que llamo balance hidrófilo-lipófilo (HLB) (Griffin, 1949).

El HLB no determina la eficacia del surfactante, más bien lo clasifica a partir de su estructura química y de esta forma, correlacionarlo con la clase de emulsiones a las que es más afín. Además, el número de HLB es asignado al agente tensoactivo puro, por lo que suele diferir del comportamiento del mismo en disolución. El valor HLB puede variar en función de la clase de electrolito, temperatura y tipo de fase lipídica, debido a que se modifica la geometría de la capa de surfactantes en la interfase, causando una variación en su curvatura preferida (Aranberri et al., 2006).

Por lo tanto, de dos agentes tensoactivos con el mismo HLB, uno puede que no sea adecuado para las mismas emulsiones, debido a la naturaleza de alguno de los disolventes. En consecuencia, muchas veces se opta por hacer uso de más de uno de ellos, puesto que los valores HLB son aditivos (Belitz, 2009).

Cuanto más alto es el HLB en la escala, mayor es su carácter hidrófilo, por tanto, entre más bajo sea el valor, más lipófilo es el surfactante (Griffin, 1949; Belitz, 2009).

Tabla 3. Valores HLB de Griffin

HLB	Tipo de surfactante
1-3.5	Agentes antiespumantes
4-6	Emulsionantes W/O
7-9	Agentes humectantes
8-18	Emulsionantes O/W
13-15	Detergentes
15-40	Solubilizantes/hidrotopos

(CHEMMUNIQUE, 1980)

Espumas

Las espumas se obtienen al dispersar en un líquido (fase continua) moléculas de aire o cualquier otro gas (fase dispersa) mediante agitación o borboteo. Su formación se logra porque las moléculas que conforman el líquido poseen la estructura que les permite formar una película, en la cual, queda atrapado el aire en burbujas que van de 0.01 hasta varios milímetros, en celdas separadas por láminas de líquido (Rodríguez, 2008; Cassar, 2013). Estas láminas con caras casi paralelas, se curvan ($\approx 120^\circ$) cuando dos o tres de ellas se juntan, formándose con ello poliedros con superficies cóncavas hacia el gas, llamadas bordes de Plateau. La presencia de estas concavidades hace que la presión del hueco de líquido entre las celdas sea inferior que la del líquido entre caras paralelas, favoreciendo el escurrimiento, lo que conlleva a la destrucción de la espuma. La presión hidrostática hace que las láminas sean más finas en las partes superiores, que en la base de la espuma, lo que también induce el escurrimiento (Rodríguez, 2008).

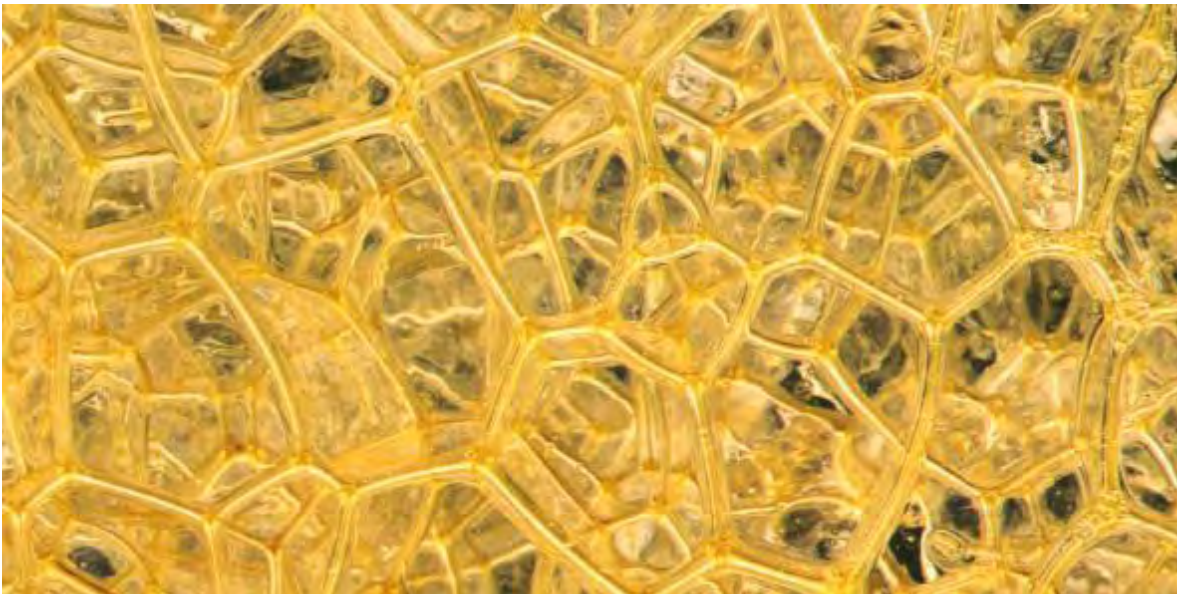


Figura 12. Bordes de Plateau de una espuma gruesa (Smith y Myhrvold, 2011)

Otros procesos que desestabilizan una espuma son la maduración de Ostwald (o difusión gaseosa intra-burbuja), la coalescencia, la segregación de burbujas y el drenaje gravitacional, la succión capilar y la presión de Laplace (disolución o reventado de las burbujas más pequeñas debido una mayor tensión interfacial). A pesar de ello, se pueden estabilizar mediante el uso de películas mixtas tensoactivas, que producen alta elasticidad de dilatación de Gibbs y aumentan la viscosidad interfacial L/G. También se pueden estabilizar utilizando fases laminares líquidas cristalinas (Tadros, 2013).

El uso de agentes emulsionantes abate el coeficiente de dilatación adiabática y permite que la espuma no se destruya.

Entre los estabilizadores de espumas se encuentran: lípidos, agentes gelificantes, proteínas (muchas veces en caliente, desnaturalizándose subsecuentemente, dando lugar a geles irreversibles), almidones, surfactantes y sólidos solubles.

Cabe aclarar que difícilmente los espumantes presentan algún tipo de sinergia con otros agentes. Ejemplo de ello, son los lípidos con las espumas estabilizadas por proteínas (Badui, 2006).

Tabla 4. Estabilizadores de espuma

Agente estabilizador	Aplicación	Conc. típica (%m/m)
Agar	Espuma sifonada	0.2-1.2
Alginato de propilenglicol	Espuma sifonada o batida	0.1-0.4
Alginato de sodio	Espuma sifonada o batida	0.1-1.2
Almidones modificados	Espuma sifonada o batida	0.5-4.0
Azúcares	Espuma al vacío o batida	2-30
Carrageninas	Espuma sifonada	0.1-1.0
Goma de algarrobo	Espuma sifonada	0.1-1.0
Goma gellana bajo acilo	Espuma sifonada	0.05-0.80
Goma xantana	Espuma sifonada o batida	0.1-0.7

ADAPTACIÓN DE LA TABLA FOAM STABILIZERS, DEL LIBRO MODERNIST CUISINE, VOLUME 4 · INGREDIENTS AND PREPARATIONS, 2011.

La formación de espumas en gastronomía tradicional se vale de almidones, proteínas de la yema (lecitina), la clara (albumina) de huevo o la leche (caseínas y proteínas del suero), las cuales fungen como agentes espumantes, para elaborar, por ejemplo, merengues, mousses, soufflés o panes.

Otra forma de llegar a formar espumas, es mediante fermentaciones controladas (en sólidos o líquidos), las cuales, generan CO₂ que se distribuye a través de la matriz alimentaria. Otra forma en la cual se logran espumas culinarias, es mediante el calentamiento a altas temperaturas de alimentos (como frituras o chicharrón), lo que provoca la evaporación del agua libre contenida, generándose así, vapor de agua que infla al producto alimentario (Myhrvold, Young y Bilet, 2011).

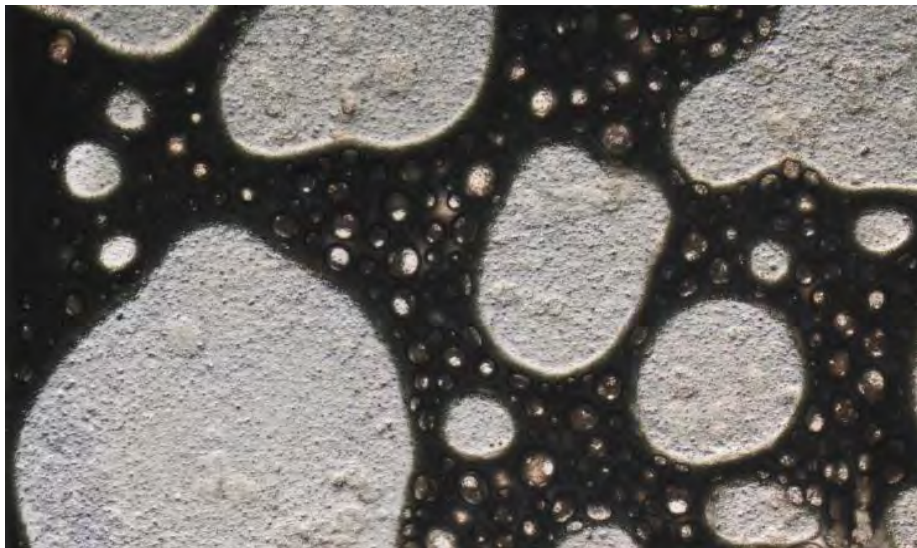


Figura 13. Micrografía de una espuma láctea (Smith y Myhrvold, 2011)

Los glóbulos de grasa forman una red que ayudan a encerrar y a estabilizar las burbujas de aire. Las burbujas grandes son brillantes porque están siendo presionadas contra el cubreobjetos. Las burbujas más pequeñas son oscuras, ya que la capa de líquido se interpone entre ellos y el cubreobjetos (Myhrvold, Young y Bilet, 2011).

Los chefs modernistas han sido pioneros (desde 1994 con Adrià) en la elaboración de espumas, alcanzando distintas texturas y apariencias atractivas para los comensales. Para la creación de espumas, los chefs no solo se valen de agentes espumantes y estabilizantes, sino que han hecho uso empleo de cámaras de vacío (estabilizando las espumas en caliente o por congelación) y sifones (con cartuchos de N₂O) (Cassar, 2013).

Tabla 5. Condiciones para elaborar aires, burbujas y espumas

Textura	Agente espumante	Conc. (%m/m)
Aire grueso y seco	Lecitina de soya desengrasada en polvo	1.25
	Sucroéster	1.2
	Grenetina Bloom 160	2
	Transglutaminasa	1
Burbuja gruesa y húmeda	Jarabe de glucosa DE 40	10
	Albúmina en polvo	2
	Goma xantana	0.1
Espuma gruesa y húmeda	Lecitina de soya desengrasada	1
	Goma xantana	0.2
	Jarabe de glucosa DE 40	8
	Lecitina de soya desengrasada en polvo	0.7
	Mantequilla derretida	10-20
	Sucroéster	1.2
	Aislado de proteína de suero de leche	2
	Caseinato de sodio	0.5
	Caseinato de sodio	1
	Lecitina de soya desengrasada	1
	Sucroéster	1.2
	Aislado de proteína de suero de leche	1

ADAPTACIÓN DE LA TABLA BEST BETS FOR AIRS, BUBBLES, AND FROTHS, DEL LIBRO MODERNIST CUISINE, VOLUME 4 · INGREDIENTS AND PREPARATIONS, 2011.



Figura 14. Ostras con aire de Mignonette (vinagre de jerez + vinagre de algas + vinagre blanco balsámico + chalote + pimienta negra + sal + lecitina de soya desengrasada en polvo) (Smith y Myhrvold, 2011)

Cuando se emplea un sifón, el óxido nitroso se disuelve (a 100 kPa de presión) en el alimento líquido a 4 °C, incrementando drásticamente la presión dentro del sifón a 550 kPa, para que al liberar el líquido, dé lugar a la espuma, debido al decaimiento repentino de la presión (100 kPa).



Figura 15. Espuma sifonada de piñón (piñones de castilla + papa + sal + pimienta + aislado de proteína de suero de leche) (El aderezo, 2009)

Cabe mencionar, que este gas es menos soluble en solución acuosa que el dióxido de carbono, pero aun así, no deja de ser muy soluble (0.596 l/l a 25 °C). Otra ventaja es que es de 5 a 6 veces más soluble en fase oleosa que en acuosa, además de no inducir la rancidez oxidativa (dada la ausencia de oxígeno) y ser un inhibidor de crecimiento bacteriano (Myhrvold, Young y Bilet, 2011).

Dentro de la cocina modernista, encontramos tres clases de espumas: ligeras, densas y fijas. Las primeras, son hechas mediante sifón, caracterizándose por tener burbujas pequeñas (finas o gruesas) y una textura aterciopelada. Funcionan especialmente bien como coberturas o sustitutos de la salsa, ya que dan sabor y una textura muy suave, añadiendo poca masa (Myhrvold, Young y Bilet, 2011).

Tabla 6. Condiciones para elaborar espumas ligeras

Temperatura	Tamaño de burbuja	Agente espumante	Conc. (%m/m)	Hidratación	
				T (°C)	t (min)
Frío	Fino	Grenetina Boom 160	1	60	5
		Grenetina Boom 160	0.90		
		Goma xantana	0.27		
		Albúmina en polvo	10		
	Grueso	Goma xantana	0.7	Frío	/
		Goma xantana	0.20	95	3
Agar		0.25			
Frío y caliente	Fino	Goma gellana bajo acilo	0.3	95	3
		Agar	0.4		
		Yema de huevo	29.0	70	30
		Maltodextrina de tapioca	5.5		
	Grueso	Goma xantana	0.25	Frío	/
		Goma guar	0.15		

ADAPTACIÓN DE LA TABLA BEST BETS FOR LIGHT FOAMS, DEL LIBRO MODERNIST CUISINE, VOLUME 4 · INGREDIENTS AND PREPARATIONS, 2011.



Figura 16. Espuma ligera de melocotón (orejones + goma xantana) y verbena de limón (Smith y Myhrvold, 2011)

Las espumas gruesas por su parte, son densas, rígidas, untuosas (propiedad de adherirse a la superficie de los cuerpos sólidos) e incluso, pueden llegar a ser aterciopeladas. La presencia de gotas de grasa ayuda a estabilizar las espumas, mientras que el calentamiento hace que pierdan su cohesión (Myhrvold, Young y Bilet, 2011).

Tabla 7. Condiciones para elaborar espumas gruesas de textura fina

Temp.	Agente espumante	Conc. (%m/m)	Hidratación		Método de formación	Cargas de N2O
			T (°C)	t (min)		
Frío	Grenetina Boom 160	1.5	60	5	Sifón	2-3
	Proteína de soya modificada	1.00	Frío		Batidora eléc.	/
	Goma xantana	0.15				
	Albúmina en polvo	14	Temp. amb.	20	Sifón	2
	Isomaltol o azúcar	10				
	Pasta de almidón pregelatinizado	5				
	Grenetina Boom 160	1.2	60	5		
Frío y caliente	Goma gellana bajo acilo	0.8	95	3	Sifón	2-3
	Agar	1.0				3
	Goma xantana	0.2	95	3	Batidora eléc.	/
	Metilcelulosa	1.00	100	5		
	Goma xantana	0.15	80	10	Sifón	3
	Almidón modificado de maíz	4.0				
	Carragenina I	0.4	Temp. amb.	20	Sifón	1-2
	Albúmina en polvo	7.0				
	Goma xantana	0.2				

ADAPTACIÓN DE LA TABLA BEST BETS FOR THICK, FINE-TEXTURED FOAMS, DEL LIBRO MODERNIST CUISINE, VOLUME 4 · INGREDIENTS AND PREPARATIONS, 2011.



Figura 17. Sardinias con espuma gruesa de berenjena (berenjena italiana + crema espesa + albúmina en polvo + sal + goma xantana, zumaque, menta y aceite de oliva) (Smith y Myhrvold, 2011)

Por último, una espuma fija se produce cuando el líquido entre las burbujas se ha solidificado, mediante enfriamiento o calentamiento del mismo, según sea el caso. Su textura va de suave y pegajosa, pasando por densa y dura, hasta llegar a seca y crujiente (Myhrvold, Young y Bilet, 2011).

Tabla 8. Condiciones para elaborar espumas fijas

Temp.	Tam. de burbuja	Espumante	Conc. (%m/m)	Hidratación		Método de formación	Fijado									
				T (°C)	t (min)		Equipo	T (°C)	t (min)							
Frio	Fino	Grenetina Bloom 160	3.00	60	5	Batidora eléc.	Refrig.	4	60							
		Goma xantana	0.25			Batidora de pedestal			180							
		Grenetina Bloom 160	4						Sifón /c 2 cargas de N2O	240						
		Albúmina en polvo	10													
		Crema espesa	200													
		Yema de huevo a 65°C	30													
		Albúmina en polvo	5													
		Grenetina Bloom 160	3													
		Goma xantana	0.25													
		Albúmina en polvo	18.0													
		Jarabe de glucosa DE 40	16.5								Soluble en frío	/	Batidora de pedestal	Horno al vacío	60	120
		Maltodextrina DE 19	5.0													
Goma xantana	0.3															
Frio y caliente	Fino	Clara de huevo	100	Soluble en frío	/	Batidora eléc.	Horno de vapor	75			14					
		Jugo de limón	10					78	16							
		Sal	1.3													
		Albúmina en polvo	14													
		Maltodextrina de tapioca	17.5													
		Yema de huevo	27													
	Ácido tartárico	0.2														
	Grueso	Clara de huevo	104	Soluble en frío	/	Sifón /c 2 cargas de NO2 en taza de papel perforado	Horno de microondas	Máxima potencia	1							
		Mantequilla de nuez	100													
		Yema de huevo	67													
		Isomaltol o azúcar	67													
		Harina	16.7													
Grenetina Bloom 160		2.8														
Metilcelulosa	1.4	100	5	Batidora eléc.	Soplete o asador	A fuego alto	1									

ADAPTACIÓN DE LA TABLA BEST BETS FOR SET FOAMS, DEL LIBRO MODERNIST CUISINE, VOLUME 4 · INGREDIENTS AND PREPARATIONS, 2011.



Figura 18. Malvavisco (espuma fija) caliente de albaricoque (albaricoque + metilcelulosa + grenetina Bloom 160 + aceite de oliva + aceite esencial de jazmín + almendra marcona + cebollín + hojas de limón balsámico) (Smith y Myhrvold, 2011)

A veces, las condiciones de los alimentos dificultan o inhiben la obtención de espumas, por lo que es necesario tener en cuenta estos factores. Un pH de 2 a 5 no es apto para lograr espumas, así como un contenido de etanol mayor al 15 % o alimentos ricos en lípidos no dan cabida a espumas (Rodríguez, 2006; Myhrvold, Young y Bilet, 2011).

Sin embargo, en ocasiones la formación de espuma es indeseable, por ello, se precisa de agentes anti-espumantes (glicéridos líquidos, polidimetilsiloxano, aceite de silicona) para obtener los resultados deseados (Rodríguez, 2006).

Lecitina de soya

La lecitina es un componente de las membranas celulares, que estabiliza y suaviza la bicapa lipídica. Aunque se encuentra en diversas especies de oleaginosas, su extracción es a partir de la soya, específicamente durante la producción de aceite de soya, mediante una extracción con etanol (Belitz, 2009).

Esencialmente es una mezcla de fosfatidilcolina, fosfatidietanolamina y fosfatidilinositol. La lecitina presenta en su estructura grupos hidrófilos y liófilos, lo que le confiere propiedades emulsificantes, humectantes y tensoactivas (Belitz, 2009).

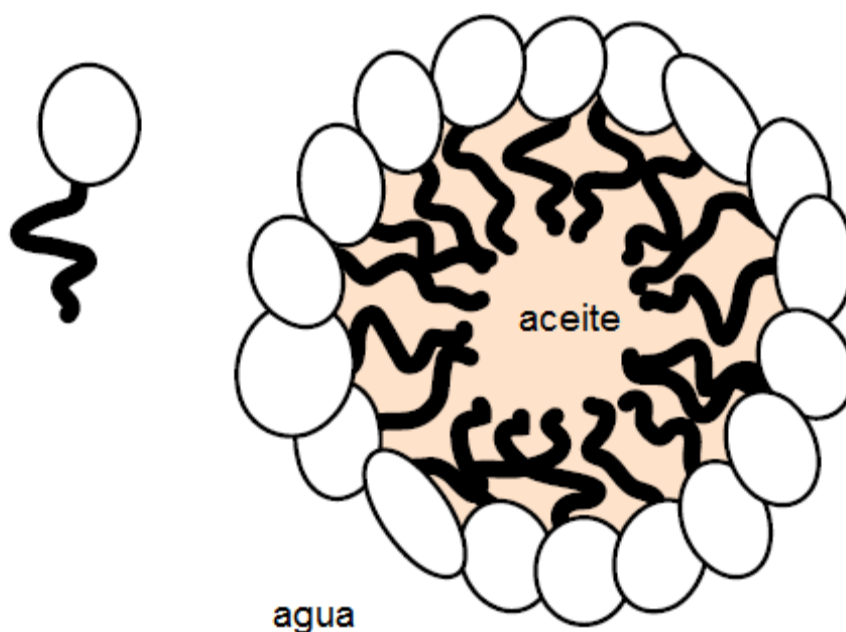


Figura 19. Posicionamiento de la lecitina de soya en una emulsión O/W (Editado de Soybean lecithin. Cuisineinnovation, 2013)

Dentro de la Gastronomía Molecular, su empleo está dedicado a la formación de emulsiones O/W, aunque su función más popular consiste en convertir jugos o líquido con sabor en espumas ligeras, que luego se pueden congelar para obtener espumas sólidas (Cassar, 2013).



Figura 20. Cosmopolitan (vodka + triple seco + jugo de arándano + jugo de lima) con espuma de arándano blanco (jugo de arándano + azúcar + vodka + lecitina de soya) (Molecule-R, 2013)

Alimentos líquidos espesados

Son fluidos que poseen un comportamiento no-newtoniano, es decir, una variación aparente de la viscosidad con respecto a la velocidad de cizalla. Son dependientes de la temperatura, siendo inversamente proporcional al aumento de ésta (Multon, 2000).

El espesamiento es consecuencia de las partículas suspendidas en solución, las cuales chocan unas con otras. Estas colisiones impiden su movimiento y disipan la energía. Cuanto mayor sea la concentración de partículas, mayor producción de colisiones, elevando así la viscosidad de la solución (Multon, 2000; Myhrvold, Young y Bilet, 2011). Otro motivo que promueve el aumento de la viscosidad, es la creación de vínculos débiles entre de partículas coloidales, lo que da lugar a la creación de

racimos o cadenas. Lo anterior se conoce como impedimento o resistencia estérica (Myhrvold, Young y Bilet, 2011). El grado de espesamiento dependerá de la naturaleza y concentración de las partículas responsables. Algunas partículas tienden a pegarse más con otras, especialmente las moléculas de polímero largas. Los espesantes más eficaces tienden a ser largas moléculas que se pegan unas a otras, lo suficiente para que se genere un considerable impedimento estérico (Myhrvold, Young y Bilet, 2011).

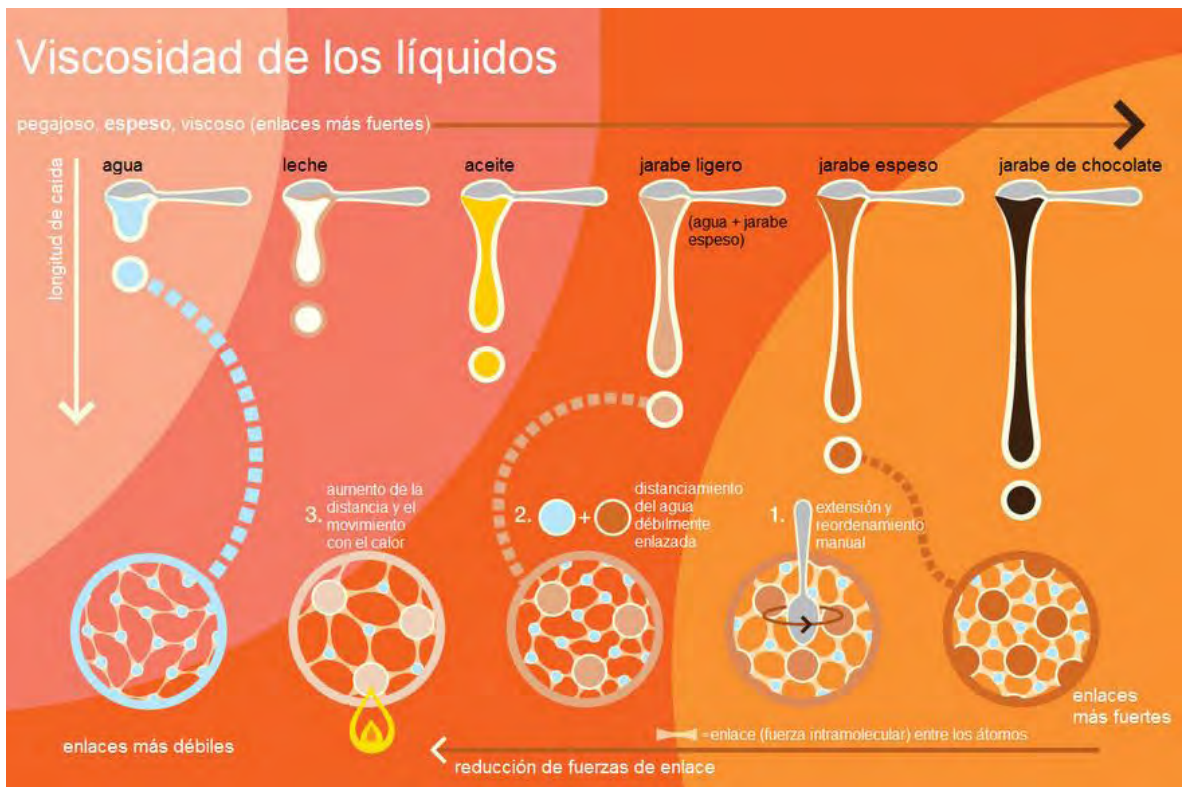


Figura 21. Infografía de la diferencia en la viscosidad de los líquidos (Edición de *Viscosity for Liquids*. Urma, 2011)

Además de aumentar la viscosidad de los alimentos líquidos y de las bebidas, los espesantes cumple distintos propósitos: modificación de textura o cuerpo, mejora de la experiencia al comer (sensación en la boca y liberación del sabor) y aumento de la vida de anaquel de espumas y emulsiones (Multon, 2000).

No es de extrañar, que por sus propiedades funcionales, sea común el uso de espesantes dentro de la cocina, sin embargo, los ingredientes tradicionales empleados para tal propósito (almidones, leche, huevo), requieren de altas dosis y con ello, la modificación de la textura y de las percepciones gustativas intrínsecas del alimento en cuestión, ya sea por la sensación de sabor directa en las papilas gustativas o del sentido del gusto generado por los vapores liberados al masticar (Myhrvold, Young y Bilet, 2011). Eso no ocurre con hidrocoloides, ya que las bajas dosis con las que se trabaja (0.1-0.5 %) no son perceptibles los cambios de sabor, además de promover la liberación del sabor (Multon, 2000; Adrià y Adrià, 2013).

Es por lo anterior, que la Gastronomía Molecular ha capitalizado los beneficios de las gomas hidrosolubles, aplicándolo en salsas, cremas, jugos, sopas y bebidas (Adrià y Adrià, 2013). Actualmente, la goma xantana es el hidrocoloide más utilizado para espesar, no sólo por tener un impacto neutral sobre la liberación del sabor, sino por ser eficaz en una amplia gama de viscosidades, temperaturas y niveles de pH. El único inconveniente es que a veces produce una textura indeseable cuando se utiliza para crear fluidos muy espesos. Pero incluso entonces, es posible añadir más goma para conseguir la textura deseada (Myhrvold, Young y Bilet, 2011).



Figura 22. Lomo de res con salsa Gravy (consomé de lomo de res + grenetina Bloom 160 + fructosa + D-ribosa + CMC + kokumi + color caramelo + ác. málico + sal) (Smith y Myhrvold, 2011)

Un aspecto a tener en cuenta al utilizar hidrocoloides, es que no todos tienen la misma capacidad espesante, por ejemplo, carrageninas, derivados de celulosa, galactomananos y goma xantana, tienen una alta capacidad, mientras que la goma arábica, las pectinas y los almidones presentan una baja capacidad (Multon, 2000).

Otro elemento a considerar, es que al constituirse de grandes moléculas, muchos hidrocoloides refractan la luz y vuelven al alimento líquido turbio u opaco, lo que muchas veces no es deseable. Gomas como las de celulosa o guar, trabajan en cantidades tan pequeñas, que no añaden opacidad. Otra alternativa, es el uso de goma xantana, la cual da una apariencia clara (Myhrvold, Young y Bilet, 2011).



Figura 23. Consomé de jamón (jamón ibérico + pimienta negra + goma xantana) con perlas de melón (jugo de melón + alginato de sodio + cloruro de calcio) (Smith y Myhrvold, 2011)

También se debe evitar la sinéresis. Ello se logra mediante la adición de un estabilizador u otro espesante, como goma de guar, goma de algarrobo, carragenina iota, goma xantana y almidones modificados (Myhrvold, Young y Bilet, 2011).

Por último, y no por ello menos importante, es la acidez del medio. Un pH bajo perjudica el rendimiento de algunos espesantes, como es el caso de los alginatos (Myhrvold, Young y Bilet, 2011).

Tabla 9. Condiciones para espesar bebidas y alimentos líquidos calientes

Nivel de espesamiento (cps)	Hidrocoloide	Conc. (% m/m)	Hidratación		Estabilidad térmica
			T (°C)	t (min)	
Muy poco (10-20)	Goma xantana	0.20	frío o cal.	/	↓ visc. a altas temp
	Carragenina λ	0.10	frío	/	Si
Poco (20-75)	Goma arabiga	10.00	60	5	Si
	Grenetina Bloom 160	3.00			
	Carragenina λ	0.25	frío	/	↓ visc. a altas temp
	Goma xantana	0.35	frío o cal.	/	
Moderado (75-200)	Alginato de propilenglicol	0.65	82	3	↓ visc. a altas temp
	Celulosa microcristalina	1.50	frío	/	Si
	Goma tragacanto	0.35			
	Carragenina λ	0.40	82	3	Espesa a altas temp
	Goma de algarrobo	0.20			
Alto (200-1200)	Goma guar	0.50	frío o cal.	/	Espesa a altas temp
	Goma xantana	0.35			
	Grenetina Bloom 160	9.00	60	5	Si
	Jarabe de glucosa DE40	4.00			
	CMC LV	0.50	frío	/	
	Carragenina λ	0.80			
Muy alto (1200-5000)	Goma xantana	0.30	frío	/	Si
	Carragenina λ	0.70			
	CMC LV	1.20	temp amb	30	Espesa a altas temp
	Goma Konjac	0.15			
	Goma xantana	0.15			

ADAPTACIÓN DE LA TABLA BEST BETS FOR THICKENING HOT LIQUIDS, DEL LIBRO MODERNIST CUISINE, VOLUME 4 · INGREDIENTS AND PREPARATIONS, 2011.

Tabla 10. Condiciones para espesar bebidas y alimentos líquidos fríos

Nivel de espesamiento (cps)	Hidrocoloide	Conc. (% m/m)	Hidratación	
			T (°C)	t (min)
Muy poco (10-20)	Goma guar	0.35	frío o cal.	/
	Goma xantana	0.15		
Poco (20-75)	Carragenina λ	0.15	frío	/
	Goma xantana	0.10		
	Goma xantana	0.25	frío o cal.	
Moderado (75-200)	Goma guar	0.25	frío	/
	CMC LV	0.50		
	Carragenina λ	0.25		
	Goma xantana	0.15		
	Goma xantana	0.40	frío o cal.	
Alto (200-1200)	Goma Konjac	0.30	82	3
	Goma de algarrobo	0.10	frío	/
	CMC LV	1.00		
	Carragenina λ	0.50		
Muy alto (1200-5000)	Goma tragacanto	0.50	frío	
	Goma xantana	0.20		
	CMC LV	2.25	82	
	alginato de propilenglicol	0.50		3

ADAPTACIÓN DE LA TABLA BEST BETS FOR THICKENING COLD LIQUIDS, DEL LIBRO MODERNIST CUISINE, VOLUME 4 · INGREDIENTS AND PREPARATIONS, 2011.

Películas comestibles

Otra aplicación de los espesantes son las películas comestibles. Estas son capas de entre 0.5 a 1 mm, creadas a partir de alimentos líquidos espesados. El objetivo de su creación es añadir un elemento de textura inesperada y aportar una presentación singular (Myhrvold, Young y Bilet, 2011).

Para su elaboración, se requiere verter la solución espesada en moldes de silicón, para luego deshidratarlos a 30 °C. De hacerse a mayor temperatura, se corre el riesgo de que las películas se agrieten cuando se seca. Cuanto mayor es el grado de deshidratación, menos flexible y más quebradiza se vuelve la película. Por último, es necesario su almacenamiento en envases herméticos oscuros, con lo que se evita su deformación por contacto con la humedad ambiental (Myhrvold, Young y Bilet, 2011).

Tabla 11. Condiciones para formar películas comestibles

Textura	Apariencia	Espesante	Concentración (% m/m)	Hidratación	
				T (°C)	t (min)
Blanda	Clara	Metilcelulosa (Methocel SGA 150)	0.75	Refrig.	8h
		Grenetina Bloom 160	0.75	60	5
		Azúcar	15.00	95	3
		Pectina de alto metoxilo	2.00		
	Opaca	Agar	1.00	95	3
		Glicerina	1.20		
Goma xantana		0.20			
Crujiente	Clara	Goma gellana bajo acilo	0.50	95	3
		Alginato de propilenglicol	0.50	60	5
		Grenetina Bloom 160	0.30		
		Maltodextrina DE 8	15.00	Frio	/
		Azúcar o Isomaltol	10.00		
	Opaca	Metilcelulosa (Methocel E4M)	1.25	Refrig.	8h
Frágil	Clara	Almidón de maíz (Pure-Cote B790)	10.00	100	15
	Opaca	Almidón de tapioca (N-Zorbit M)	20.00	Frio	/
		Glucosa en polvo	15.00	95	3
		Pectina de bajo metoxilo	1.50		
		Agar	0.60		

ADAPTACIÓN DE LA TABLA BEST BETS FOR THICKENING EDIBLE FILMS, DEL LIBRO MODERNIST CUISINE, VOLUME 4 · INGREDIENTS AND PREPARATIONS, 2011.

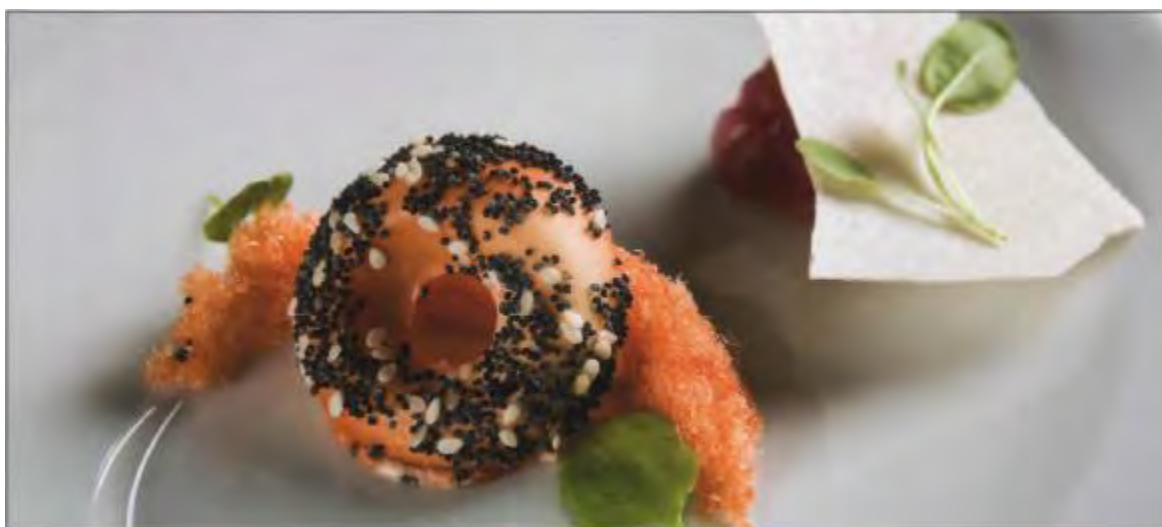


Figura 24. Película de queso crema crujiente (queso crema + sal + metilcelulosa) acompañada con salmón ahumado y cebollas en escabeche (Marumoto, 2011)

Geles

Sistemas coloidales donde la fase continua es un líquido (generalmente agua) y la fase discontinua es un sólido (hidrocoloides). Físicamente, un gel es un estado próximo a un sólido, donde la fase dispersa forma una red tridimensional que retiene a la fase dispersante por medio de enlaces de unión (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002). En ocasiones, se precisa de iones para ayudar a que las moléculas se vinculen hasta formar la red (Myhrvold, Young y Bilet, 2011).

Gracias a su naturaleza, los geles tienen la capacidad de mantener su forma y resisten ciertas violencias (Multon, 2000). A pesar de ello, algunos geles (llamados geles fluidos) en realidad fluyen como líquidos. En reposo, estos geles se parecen a un gel estándar, pero si el gel es perturbado por mezcla o agitación, se rompe y se mueve como un fluido viscoso (Myhrvold, Young y Bilet, 2011).

Para lograr un gel, el primer paso es solubilizar (muchas veces en caliente) al agente gelificante, para después ser hidratado. A partir de ese momento, las macromoléculas del hidrocoloide comienzan a organizarse entre sí, pasando del estado sol al estado gel (Multon, 2000). Terminada la gelificación, el coloide se vuelve más rígido, lo que puede dar lugar a la sinéresis, fenómeno donde el gel se contrae, exudando paulatinamente su fase líquida (Multon, 2000). En ciertos casos, la sinéresis puede ser deseable, como en el proceso de congelación-filtrado (Myhrvold, Young y Bilet, 2011).

El número de uniones establecidas y la rigidez del gel son determinantes en la dureza y en la resistencia a la reversibilidad, ya sea térmica, mecánica o iónica (Cubero, Monferrer y Villalta y 2002; Tadros, 2013).

Según la naturaleza molecular del hidrocoloides, las zonas de unión serán distintas, ya sea por formación de dobles hélices, dimerización de ciertas frecuencias o agregación ulterior (Multon, 2000).

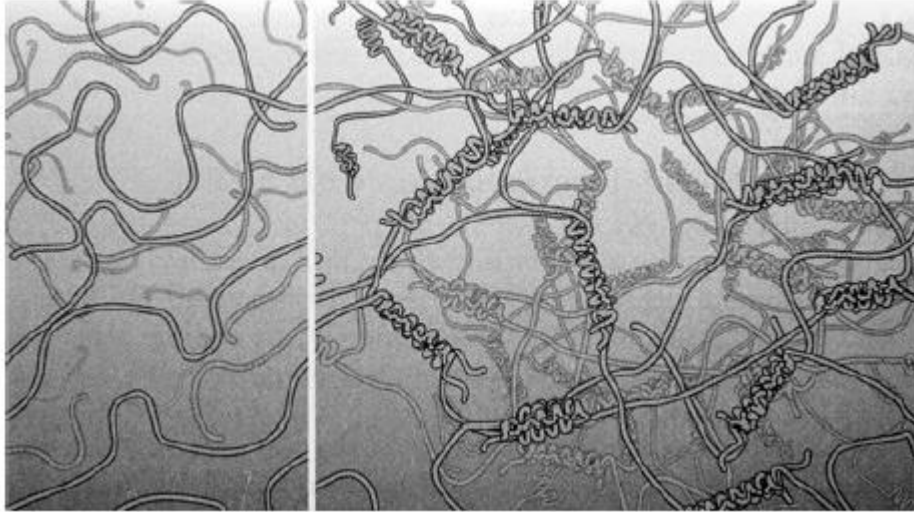


Figura 25. Modelo de gelificación de la gelatina (McGee, 2004)

Cuando la solución de gelatina está caliente (izquierda), las moléculas de agua y las proteínas están en constante movimiento forzado. A medida que la solución se enfría y las moléculas se mueven con más suavidad, las proteínas comienzan a formar pequeñas regiones de asociación helicoidal, similares a las del colágeno (derecha). Estos "cruces" forman gradualmente una malla continua de moléculas de gelatina que atrapa el líquido en sus intersticios, previniendo así cualquier flujo notable. De este modo, la solución se ha convertido en un gel sólido (McGee, 2004).

La elaboración de geles en la cocina tradicional se restringe principalmente a las gelatinas, las cuales se configuran a partir de grenetina o agar, y a algunos postres a base de huevo o almidones. Los quesos también son un claro ejemplo de geles alimenticios, donde las proteínas de la leche coagulan por efecto enzimático o de acidez. Sin embargo, la industria de alimentos no solo se ha limitado a proteínas y almidones en la obtención de geles, sino que ha usado una gran variedad de

hidrocoloides, obteniendo distintos alimentos gelificados (Myhrvold, Young y Bilet, 2011; Adrià y Adrià, 2013). Y en esa dinámica, la Gastronomía Molecular ha explorado las propiedades gelificantes de los hidrocoloides, con el objetivo de crear geles de alimentos y bebidas (incluyendo alcohólicas). Entre las ventajas de su uso, destacan la baja concentración que requieren para gelificar (0.5 % o menos), su nula influencia en el sabor final (debido a lo anterior), la creación de geles fríos y calientes (hasta 85 °C), etc. (Myhrvold, Young y Bilet, 2011).

Ejemplos de su aplicación, son la esferificación (la cual se trata más adelante), la cual no más que una gelificación controlada, mediante el uso de alginato de sodio y cloruro de calcio. Otro ejemplo representativo es la elaboración de “espagueti” no a partir de sémola de trigo, sino de agar-agar.



Figura 26. Espagueti de rúcula (rúcula + agar) y perlas de vinagre balsámico (aceite de oliva + vinagre balsámico + agar) (Moléculer, 2013)

La textura y sensación en la boca de los geles dependen de la concentración del agente gelificante, y factores como la cantidad de sólidos solubles, la acidez y, en algunos casos, la concentración de iones (Myhrvold, Young y Bilet, 2011).

En ocasiones, es importante evitar la gelificación prematura, ello mediante la eliminación de un coagulante. Esto se logra mediante la adición de un agente secuestrante, un compuesto que reacciona con las moléculas coagulantes e inhibe su capacidad para promover la gelificación (Myhrvold, Young y Bilet, 2011).

Un único agente gelificante puede producir un espectro de resultados que van desde una salsa con cuerpo mejorado para un mousse de postre, que tiene una consistencia más firme, a dura. La fragilidad o elasticidad de los geles es muy variable, ya que se siente la boca y la liberación de sabor (Myhrvold, Young y Bilet, 2011).

Algunos hidrocoloides, como carrageninas, goma xantana y goma de algarrobo son estable a la congelación, lo que significa que se pueden congelar y descongelar sin problemas. A menudo se añaden estabilizantes a los geles para eliminar la tendencia a degradarse en el ciclo de congelación-descongelación. Al igual que la congelación, el tiempo puede desestabilizar un gel. Algunos agentes gelificantes mantienen su forma mejor que otros (Myhrvold, Young y Bilet, 2011).



*Figura 27. Flan de manzana (jugo de manzana + carragenina iota)
(Cocinista, 2013)*

Geles fríos

Se consideran geles fríos a aquellos que se sirven a 5 °C o menos. Aunque estos geles aparecieron en los banquetes de Europa desde el siglo XVIII (como forma de conservación), la Gastronomía Molecular ha aumentado el abanico de posibilidades de textura y firmeza de dichos geles. Para ello, se hace uso principalmente de grenetina, agar, goma gellana y carrageninas λ y κ (Myhrvold, Young y Bilet, 2011).

Tabla 12. Condiciones para elaborar geles fríos

Textura	Firmeza	Agente gelificante	Conc. (% m/m)	Hidratación	
				T (°C)	t (min)
Elástica	Muy blanda	Grenetina Bloom 160	0.75	60	5
		Carragenina κ	0.10	85	3
		Carragenina λ	0.10		
		Goma gellana alto acilo	0.20		
		Carragenina κ	0.05		
	Blanda	Grenetina Bloom 160	0.85	60	
		Carragenina λ	0.20	85	3
		Carragenina κ	0.15		
	Firme	Goma de algarrobo	0.15	95	3
		Agar	0.10		
		Goma xantana	0.20	60	25
		Grenetina Bloom 160	1.00		
		Pectina de bajo metoxilo	2.00		
		Gluconato de calcio	1.00	100	3
		Carragenina λ	0.25		
		Carragenina κ	0.25		
Muy firme	Grenetina Bloom 160	1.50	60	25	
	Sacarosa	65.00	110	1	
	Pectina de alto metoxilo	1.75			
	Ácido cítrico o tartático	1.50			
Quebradiza	Firme	Goma gellana bajo acilo	0.25	95	3
		Goma gellana alto acilo	0.15		
		Agar	0.35		
		Goma de algarrobo	0.40		
		Carragenina κ	0.20		
	Muy firme	Agar	0.50	95	3
		Goma gellana bajo acilo	0.35		

ADAPTACIÓN DE LA TABLA BEST BETS FOR COLD GELS, DEL LIBRO MODERNIST CUISINE, VOLUME 4 · INGREDIENTS AND PREPARATIONS, 2011.



Figura 28. Fideos de aceite de oliva (almidón de tapioca + aceite de oliva + sal + gredina Bloom 300 + pectina LM + agar + agua mineral) (Smith y Myhrvold, 2011)

Geles calientes

Aunque va en contra de la preconcepción que tenemos acerca de los alimentos gelificados, los geles calientes son servidos a una temperatura igual o mayor a 50 °C. Los geles calientes incluyen fideos de imitación que no contienen almidón y natillas y flanes sin huevo. Otro uso implica el encapsulamiento de alimentos y la elaboración de hoja delgadas de gel. Para su formación, regularmente se hace uso de agar, pectina de bajo metoxilo, carrageninas ι y κ , goma gellana, metilcelulosa e hidroxipropilmetilcelulosa, consiguiendo una buena liberación de sabor (Myhrvold, Young y Bilet, 2011).

La mayoría de los geles calientes también se pueden servir fríos. Los geles de derivados de celulosa (MC, HPMC) son una excepción, ya que aunque se logran a altas temperaturas, en frío se funden (Myhrvold, Young y Bilet, 2011).

Tabla 13. Condiciones para elaborar geles calientes

Textura	Agente gelificante	Conc. (% m/m)	Hidratación
			T (°C)
Blanda y muy elástica	Goma xantana	0.15-0.25	95
	Goma gellana bajo acilo	0.10	
	Sorbitol	5.00	
	Goma gellana alto acilo	0.20	
	Agar	0.10	
	Hidroxipropilmetilcelulosa (K100M)	1.50	90
Blanda y elástica	Goma xantana	0.15	95
	Goma de algarrobo	0.15	
	Goma gellana bajo acilo	0.10	
	Goma gellana alto acilo	0.20	
	Metilcelulosa (A15C)	1.50	55
Firme y elástica	Goma de algarrobo	0.25	85
	Agar	0.20	
	Goma gellana alto acilo	0.25	
	Goma gellana bajo acilo	0.20	64
	Goma xantana	0.10	
	Hidroxipropilmetilcelulosa (E4M)	1.50	
	Hidroxipropilmetilcelulosa (F450)	2.50	
Firme y semi-quebradiza	Agar	0.25-0.40	85-95
	Goma guar	0.20	85
	Goma gellana alto acilo	0.40	95
	Super metilcelulosa (SGA 150)	1.20	44
Muy firme y quebradiza	Agar	0.50	85
	Goma gellana bajo acilo	0.30	95
	Goma gellana alto acilo	0.15	
	Super metilcelulosa (SGA A7C)	1.00	44

ADAPTACIÓN DE LAS TABLAS BEST BETS FOR HOT GELS Y BEST BETS FOR METHYLCELLULOSE GELS, DEL LIBRO MODERNIST CUISINE, VOLUME 4 · INGREDIENTS AND PREPARATIONS, 2011.

NOTA: MC A15C; HPMC E4M, F450; SGA 150, A7C SON PRODUCTOS DE DOW CHEMICAL COMPANY Y SU REFERENCIA ES ESTRICTAMENTE COMPARATIVA.



Figura 29. Natilla de mariscos (crema + leche + variedad de mariscos + goma gellana + goma xantana + hexametfosfato de sodio) (Smith y Myhrvold, 2011)

Geles fluidos

Son geles que actúan como un sólido cuando se encuentran en reposo, comportándose como líquido cuando son sometidos a fuerzas de cizallamiento. Lo anterior, se conoce como tixotropía. Su viscosidad está en función de la cantidad de fuerza aplicada. Su sensación y textura en la boca es similar a la de un puré (Myhrvold, Young y Bilet, 2011).

Los geles fluidos tienen muchas aplicaciones en la cocina. Entre ellas, funcionan como estabilizadores de suspensiones coloidales, manteniendo las partículas que en ella se asientan (Myhrvold, Young y Bilet, 2011).

Dentro de la Gastronomía Molecular, su aplicación más afamada, es servir en un mismo recipiente dos geles fluidos, uno caliente y el otro frío, los cuales, dadas las

propiedades que conservan de los geles [baja transferencia de calor y masa, alta viscosidad (en ausencia de esfuerzo de cizalla), buena liberación de sabor], junto con las características de líquido [baja viscosidad (aplicando fuerza mecánica), alta capacidad calorífica] permiten estos platillos que desafían la lógica de los comensales (Tadros , 2013).

Aunque pueden emplearse diversos hidrocoloides (o incluso huevo), el agar y la goma gellana son los más usados para formar geles fluidos.

Tabla 14. Condiciones para elaborar geles fluidos

Temperatura	Viscosidad	Hidrocoloide	Conc. (%m/m)	Hidratación	
				T (°C)	t (min)
Frío	Diluido	Grenetina Bloom 160	0.80	60	2-5
		Carragenina ι	0.10	75	3
	Medio espeso	Grenetina Bloom 160	1.50	60	2-5
		Carragenina κ	0.40	95	3
	Espeso	Grenetina Bloom 160	2.50	60	2-5
		Carragenina ι	0.35	75	3
Carragenina κ		0.20			
Caliente	Diluido	Agar	0.25	95	3
		Goma gellana bajo acilo	0.10		
	Medio espeso	Agar	0.40		
		Goma xantana	0.15		
		Goma gellana bajo acilo	0.50		
	Espeso	Agar	0.90		
		Goma xantana	0.20		
		Goma gellana bajo acilo	0.80		

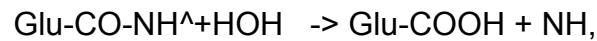
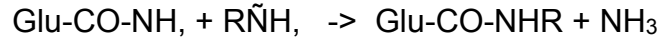
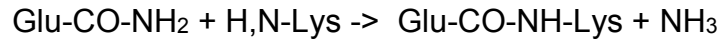
ADAPTACIÓN DE LA TABLA BEST BETS FOR FLUID GELS, DEL LIBRO MODERNIST CUISINE, VOLUME 4 · INGREDIENTS AND PREPARATIONS, 2011.



*Figura 30. Té Earl Grey frío y caliente (Té Earl Grey + goma gellana LA + ácido málico + cloruro de calcio + citrato de sodio)
(Smith y Myhrvold, 2011)*

Transglutaminasa

La Transglutaminasa (TG) -Glutaminil-péptido gamma-Glutamil Transferasa- es una enzima presente en el hígado y músculos de los mamíferos y en ciertos tejidos vegetales, que es capaz de unir proteínas (sin alteraciones sensoriales), mediante el entrecruzamiento entre un grupo amino de un residuo de lisina (Lys) y un grupo carboxamida de un residuo de glutamina (Glu) (Gimferrer, 2008; Profichief, 2013). Es conocida comúnmente como “pegamento de carne”, ya que se emplea en alimentos ricos en proteínas, como la carne o el pescado (Gimferrer, 2008). Su síntesis industrial se lleva a cabo desde 1970 (en Japón), mediante el uso de la cepa *Streptoverticillium mobaraensis* (Profichief, 2013).



Mecanismo de catálisis de la transglutaminasa (Profichief, 2013)

Su aplicación en proteínas hace que estas sean más resistentes a la proteólisis, mientras que en emulsiones aporta viscosidad y estabilidad. Además, la enzima puede formar geles firmes, termoestables y con baja tendencia a la sinéresis (Gimferrer, 2008). Esta última propiedad funcional es la que ha impulsado dentro de la Gastronomía Molecular, donde se emplea regularmente al 0.05-1.8 % de concentración, adicionando a su vez grenetina, maltodextrina y fosfato trisódico.



Figura 31. Hojas de edamame (semillas de soya + TG + grenetina), cangrejo real y dashi (caldo de pesado) con canela (Smith y Myhrvold, 2011)

La transglutaminasa requiere calcio como cofactor, sólo si ésta es de origen animal, ya que en su forma microbiana no necesita este elemento. Su pH óptimo de uso es entre 6 y 7, aunque trabaja desde pH 4.5 hasta 9. Requiere de más de 0 °C para que pueda activarse, siendo su temperatura óptima de 50 a 55 °C. Arriba de este intervalo su eficacia se abate, llegando a inactivar a 75 °C (2 horas a 65 °C, 15 min a 70 °C, 5 min a 75 °C o 1 min a 80 °C) (Gimferrer, 2008; Profichief, 2013).

La actividad de la transglutaminasa microbiana se ve reducida en presencia de agentes modificadores de los grupos sulfhidrilo (-SH). La enzima es igualmente sensible a la oxidación (Profichief, 2013).

Se debe evitar su disolución en soluciones alcohólicas, ya que sufre desnaturalización (Profichief, 2013).

Esferificación

La esferificación es un proceso en el cual se forman geles esféricos a partir de gotas de un alimento líquido en combinación con alginato de sodio (aunque puede emplearse goma gellana, pectina de bajo metoxilo o carragenina), mediante la gelificación de la interfase entre dos sustancias, quedando el exterior gelificado y el interior líquido. El resultado es una esfera porque esta es la forma que permite minimizar el área interfacial entre los dos líquidos y, por ende, la energía del sistema (Castells, 2008).

La esferificación se desarrolló originalmente como una técnica para crear un tipo de matriz de encapsulación de sabores y/o ingredientes a base de lípidos que fue patentado en 1946 por WJS Peschardt (Patente de Estados Unidos Número 2.403.547) para la fabricación de cerezas artificiales (Schmidt et al., 2012).

La adaptación culinaria de este proceso es atribuida al trabajo conjunto entre Griffith Laboratories España, el chef catalán Ferrán Adriá y su equipo de cocina en elBulli desde el año 2003. Desde entonces, la esferificación ha ganado aceptación y se utiliza en las cocinas de restaurantes en todo el mundo para crear esferas pequeñas

(denominadas caviar o caviar falso) o grandes (denominadas raviolis, huevos o ñoquis) (Harris 2009).

Existen dos principales técnicas de esferificación. La esferificación básica o directa y la esferificación inversa. También existen otras técnicas para crear esferas, una de ellas consiste en la gelificación instantánea mediante la inmersión de un líquido en aceite frío o nitrógeno líquido. En 2006, la esferificación se extendió también a los aceites mediante la técnica de encapsulación, al inyectar aceite en una gota que contiene alginato de sodio para después sumergirse en una solución con sales de calcio (Mans y Castells, 2011).



Figura 32. Encapsulación: Esferas de tomate con aceite de albahaca (jugo de tomate + albahaca + aceite de pepitas de uva + alginato de sodio + lactato de calcio) (Smith y Myhrvold, 2011)

Esferificación básica o directa

Fue aplicada en la cocina por primera vez por Ferrán Adriá, y en esta técnica, una solución de alginato de sodio al 0.5 % se dispersa en el alimento líquido deseado, para después dejarlo caer en un baño de cloruro de calcio al 0.5 %. Ahí, las esferas

se forman cuando los iones de Ca^{2+} sustituyen a los iones Na^+ , lo que forma enlaces cruzados entre las moléculas de alginato, creando un gel sólido térmicamente irreversible. Esto forma inicialmente una membrana del gel en el exterior, dejando un centro líquido, pero como la reacción continúa, el centro paulatinamente se espesa hasta convertirse en un gel sólido. El alginato de sodio no puede hidratarse bien en alcohol, por lo que primero se debe dispersar e hidratar en solución acuosa si se desea esferificar líquidos con etanol. Las esferas son flexibles y pueden ser manipuladas con cuidado (Yek y Strume, 2008).

Los aditivos que comúnmente se usan para llevar a cabo la esferificación básica, son alginato de sodio y cloruro de calcio (FMC BioPolymer, 2010), sin embargo, se usan otros aditivos como fuente de calcio, como el lactato de calcio (más usado para esferificación inversa, en solución al 1 %) y el gluconolactato de calcio (en solución al 2 %). Este último tiene un sabor suave a diferencia del sabor amargo-salado del CaCl_2 , aunque presenta el inconveniente de tener una viscosidad más baja en solución, siendo necesario adicionar un espesante (para permitir una esferificación adecuada). También se pueden hacer uso de otros iones divalentes para el baño de calcio (Schmidt et al., 2012).

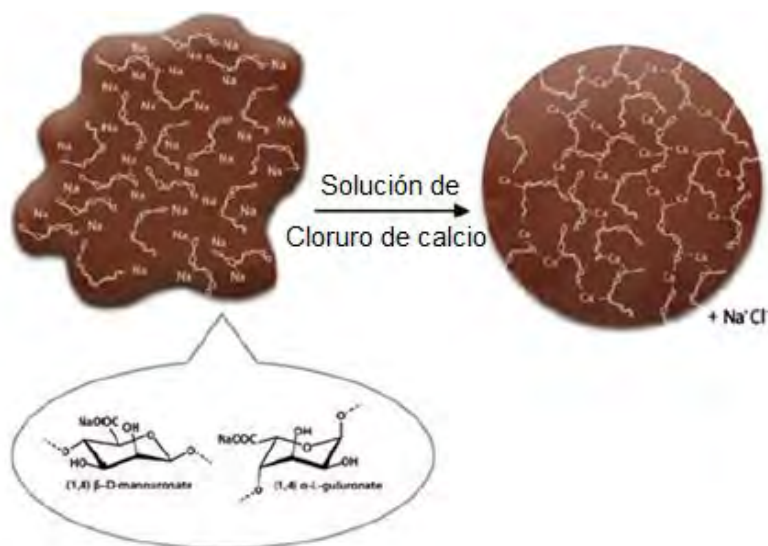


Figura 33. Reacción de entrecruzamiento entre alginato de sodio y cloruro de calcio (Editado de *Using Food Science Demonstrations to Engage Students of All Ages in Science*. Schmidt et al., 2012)

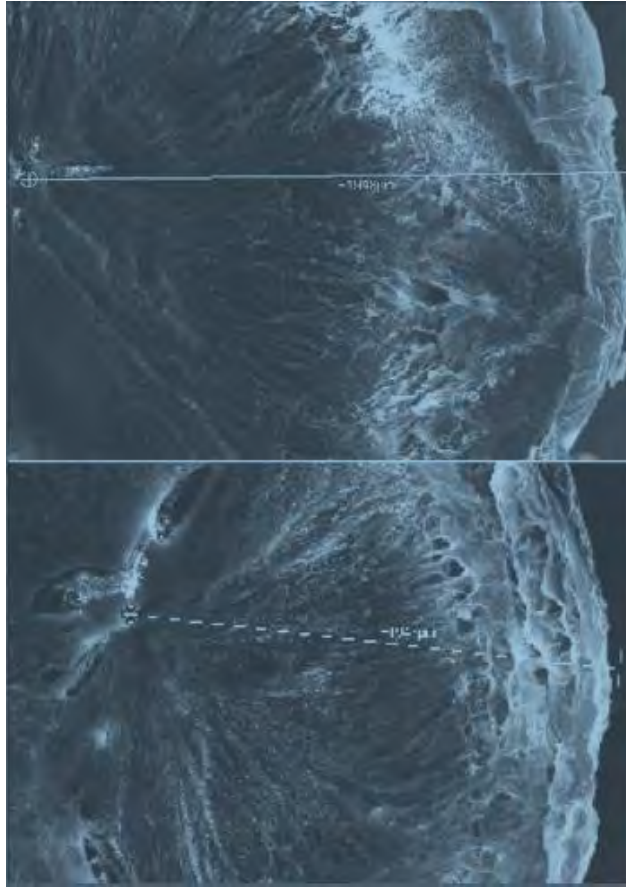


Figura 34. Imágenes por microscopía electrónica de esferas de alginato en solución de CaCl_2 (Sapiña y Tamaño, 2010)

La primera imagen muestra una esfera de alginato sumergida en una solución de cloruro de calcio después de 1 min. En la siguiente imagen la esfera ha estado sumergida por 5 minutos. Al comparar las dos imágenes se aprecia la penetración de Ca^{2+} en la esfera aumenta con respecto al tiempo. Después de 1 minuto más, la esferificación se habrá completado (McGee, 2010).

A fin de que la reacción de entrecruzamiento se produzca, debe haber una concentración suficientemente alta de los iones de calcio. La reacción entre cloruro de calcio y alginato de sodio requiere de un ion calcio libre por cada dos moléculas de alginatos, resultando dos moléculas de cloruro de sodio por reacción. La

formación de NaCl es el motivo por el cual las esferas deben enjuagarse antes de ser usadas (Schmidt et al., 2012).



Lo anterior hace que se obtengan esferas con una muy fina membrana de gel (formada desde el interior) casi imperceptible en la boca. El resultado es una esfera termoestable que explota fácilmente en la boca, dando la sensación de que no hubiera un sólido entre el paladar y el líquido (Schmidt et al., 2012).

Esta técnica es ideal para crear caviar (pequeñas esferas), ya que la viscosidad de la solución de calcio es baja, lo que permite que las pequeñas gotas cohesionen en una forma esférica y evita que no se peguen entre sí. Se puede aumentar la densidad del baño de calcio (mediante la adición de sacarosa en hasta un 20 %) para ayudar a la formación esferas perfectas cuando se vierte la solución de alginato en la solución de calcio, pues así se evita evita que las esferas se aplanen en la parte inferior del recipiente al estar flotando (Castells, 2008).

El principal problema de la esferificación básica es que una vez que la esfera se retira del baño de calcio, el proceso de gelificación continúa incluso después de enjuagar la esfera con agua, debido a que los iones Ca^{2+} continúan su difusión hacia el centro de la esfera, lo que hace que el proceso de gelificación continúe y, finalmente, dé lugar a una esfera de gel sólido. Lo anterior obliga a que las esferas ser sirvan de inmediato o podrían convertirse en una gel compacto sin líquido en su interior. Otro problema de esta técnica es que la gelificación no se produce si el líquido presenta un pH menor a 3.6, porque no se forma en la interfase una membrana de alginato de calcio, sino que se obtiene ácido algínico. Esto puede corregirse con la adición de un regulador de pH (por ejemplo, citrato de sodio) al líquido antes del proceso de esferificación. Aun así, resulta poco útil en ingredientes muy ácidos (jugos de cítricos o piña) (Mans y Castells, 2011).

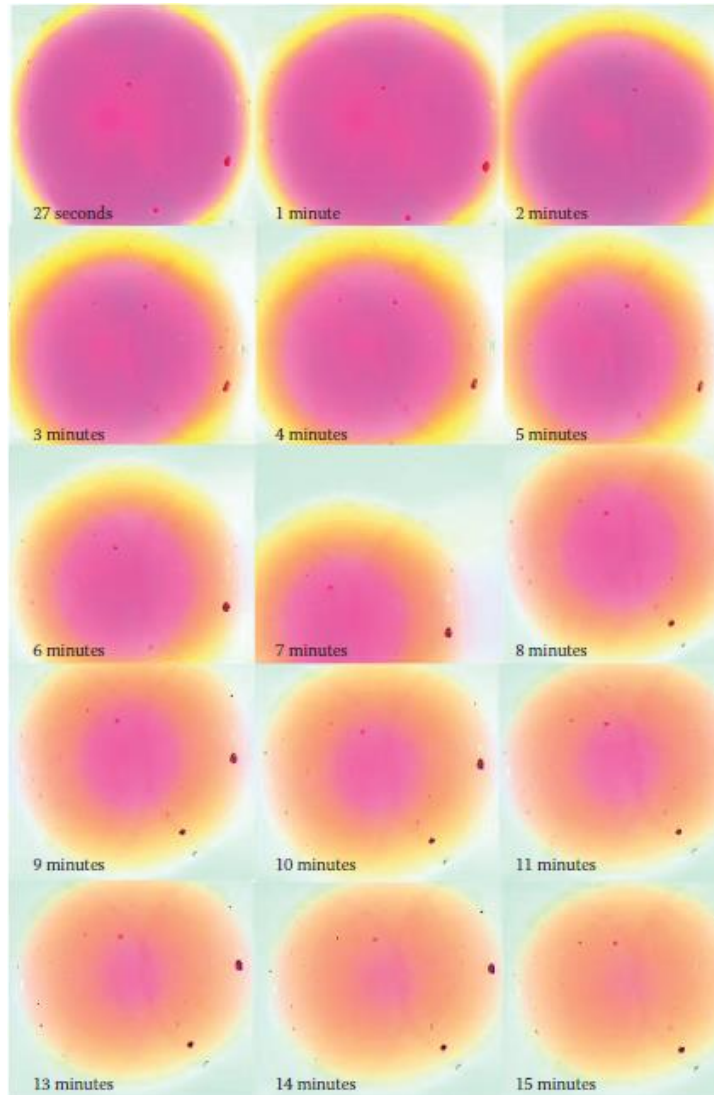


Figura 35. Fotografías del proceso de esferificación directa tomadas con lupa binocular (Sapiña y Tamayo, 2010)

Imágenes minuto a minuto del proceso de gelificación de caviar esférico. En las fotografías, el color rosado-violeta es la zona del líquido que tiene la mayor concentración de alginato de sodio. El color naranja brillante es el área en la que el cloruro de calcio está penetrando y donde se produce la esferificación. Después de 15 minutos se observa que la esfera ha gelificado por completo (McGee, 2010).

Puede ocurrir que el líquido a esferificar tenga que reposar durante varias horas (de 1 a 24 h) para eliminar por densidad el aire incorporado al mezclar en el alginato de sodio con la batidora, pues las burbujas de aire pueden crear puntos débiles en la membrana de la esfera, lo que hace que se rompan o goteen fácilmente. Además, las burbujas de aire aumentan la flotabilidad de la esfera en la solución de calcio, lo que no permite se hundan adecuadamente y que por ende, estén completamente cubiertas con dicha disolución. Colateralmente, queda afectada la presentación al hacer que el color del líquido sea pálido (Mans y Castells, 2011).

Por último, los alimentos con alto contenido de calcio no pueden ser esferificados mediante ésta técnica, dado que gelifican al mínimo contacto con el alginato, por lo que el proceso se descontrola. Si la proporción de calcio es moderada, se puede añadir un agente secuestrante (como citrato de sodio) al alimento líquido, siempre y cuando su pH sea superior a 4.5; aunque lo más conveniente en este caso es emplear la esferificación inversa (Castells, 2008).



Figura 36. Bistec de res y caviar de melón (jugo de melón + alginato de sodio + lactato de calcio) (Molecularrecipies.com, 2013)

Esferificación inversa

En la esferificación inversa se emplean alimentos con alto contenido en calcio y se les coloca en un baño de alginato de sodio al 0.5 %. Si el jugo o el alimento líquido no contienen calcio de forma natural, se añade una fuente de la misma, como lactato de calcio (al 1 % en solución), gluconolactato de calcio (al 2 % en solución) o cloruro de calcio (al 0.5 % en solución). Existe una variación a esta técnica, la esferificación inversa congelada, que tiene una etapa de congelación que logra formar fácilmente esferas perfectas de tamaño consistente en un tiempo breve (Schmidt et al., 2012).

Adrià desarrolló en 2005 el proceso para evitar la solidificación completa de las esferas después de ser creadas, es decir, la continuación del proceso de entrecruzamiento que lleva a la formación de un gel sólido en toda la esfera, en lugar de sólo la superficie (Adrià, 2008). Al igual que en la esferificación básica, el calcio que se difunde de la gota al baño de alginato sustituye a los iones de sodio, formando (mediante una reacción de entrecruzamiento por producto) una capa de gel fuera de la gota del líquido y NaCl. Debido a que los iones de calcio se están difundiendo de dentro hacia fuera y gracias a que la membrana de gel no es tan porosa, las moléculas de alginato no entran en las esferas, por lo que el proceso de gelificación se detiene tan pronto como las mismas se retiraron del baño de alginato.

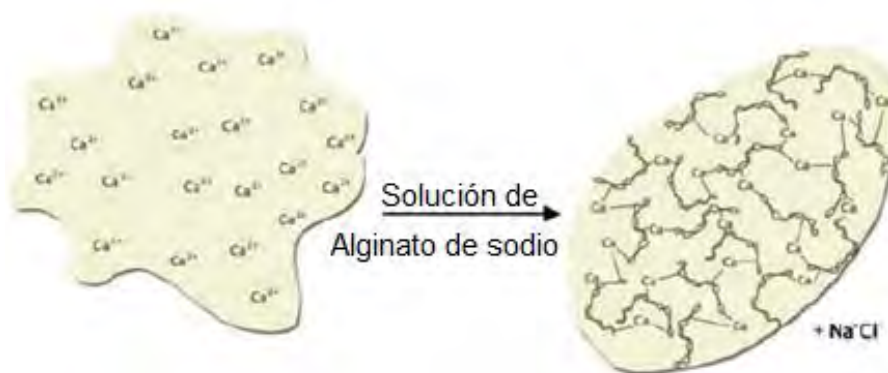


Figura 37. Reacción de entrecruzamiento entre iones Ca^{2+} y alginato de sodio (Editado de Using Food Science Demonstrations to Engage Students of All Ages in Science. Schmidt et al., 2012)

Esto permite tener esferas térmicamente estables con centro líquido y con la capacidad de ser almacenadas para su posterior uso. Gracias a estas características, las esferas se pueden manipular más fácilmente e incluso es posible introducir elementos sólidos que permanecen en suspensión en el líquido, lo que da la posibilidad de múltiples sabores y texturas en las mismas (Schmidt et al., 2012).

Se debe usar agua destilada para la preparación de la solución de alginato de sodio, ya que así se evita la presencia iones Ca^{2+} , lo que haría espesar y hasta gelificar el baño, por causa de la reacción entre el calcio y el alginato. En ocasiones, es necesario dejar en reposo el baño de alginato de sodio durante varias horas (12-24 h), para eliminar las burbujas de aire creadas por la disolución del alginato de sodio con la batidora de inmersión (Castells, 2008).

Cuando se vierte el alimento líquido en la solución de alginato, la forma esférica se forma gracias a la tensión superficial. Dos factores que afectan la tensión superficial y la forma resultante son la densidad del líquido y la del baño. Si el alimento líquido es poco viscoso, no será capaz de penetrar en la superficie del baño denso, se extenderá en la solución y no logrará mantener su forma. Por lo tanto, a veces el líquido a esferificar necesita ser espesado con goma xantana (entre 0.2 y 0.5 %) hasta que se obtenga la viscosidad apropiada, evitando excederse, pues no será capaz de formar uniformemente una esfera (Schmidt et al., 2012).

Si las esferas se dejan en contacto con el aire, el gel empieza a secarse hasta que finalmente se rompen. Por ello, es necesario almacenarlos en un baño líquido; este líquido no debe ser una solución acuosa, pues se producirá un proceso de osmosis, debido a la permeabilidad hacia moléculas pequeñas que presenta la membrana de gel que cubre la esfera, lo que provoca que se diluya el líquido dentro de la esfera. Por lo tanto, para conservar el sabor, es preferible sumergir las esferas en un baño del mismo alimento líquido en el refrigerador (Molecularrecipes.com, 2013).

La técnica de la esferificación inversa es mucho más versátil que la esferificación básica, al permitir hacer esferas con casi cualquier producto. Es ideal para líquidos con alto contenido de calcio (leche y sus derivados) o de alcohol (bebidas alcohólicas) (Schmidt et al., 2012).



Figura 38. Esferas de mojito carbonatado (ron blanco + jugo de lima + hojas de menta + azúcar + CO₂ + goma xantana + alginato de sodio + lactato de calcio) (Molecularrecipes.com, 2013)

Tabla 15. Condiciones para esferificación directa e inversa

Método	Base de la esfera	Conc. (%m/m)	Baño de ajuste	Conc. (%m/m)
Directo con alginato	Alginato de sodio + Goma xantana (opcional)	1 0.2-0.5	Cloruro de calcio	0.5
	Alginato de sodio + Goma xantana (opcional)	1 0.2-0.5	Gluconato de calcio	2.5
Directo con carragenina	Carragenina I	2	Fosfato de potasio	5
Directo con goma gellana	Goma gellana bajo acilo + Hexametáfosfato de sodio	0.2 0.1	Gluconato de calcio + Ácido láctico	6 0.1
	Lactato de calcio + Goma xantana (opcional)	3 0.2-0.5	Alginato de sodio + Citrato de sodio (opcional)	0.5 1.2
Inverso con pectina LM	Lactato de calcio	5	Pectina de bajo metoxilo	2

ADAPTACIÓN DE LA TABLA BEST BETS FOR SPHERIFICATION, DEL LIBRO MODERNIST CUISINE, VOLUME 4 · INGREDIENTS AND PREPARATIONS, 2011.

Capítulo 3. Texturizantes (Hidrocoloides)

La Gastronomía Molecular ha buscado siempre impresionar y deleitar a los comensales. Por desgracia, para sus creaciones culinarias, no siempre son idóneos los ingredientes que comúnmente se encuentran en la cocina (leche, huevo, almidones, mantequilla, etc.), ya que las condiciones que precisan los platillos e incluso las caprichosas invenciones, los hacen inútiles o poco efectivos para tales propósitos. Es por ello, que bajo la filosofía de la cocina modernista, los chefs han adoptado el uso de los hidrocoloides, pues estos pueden adecuarse a sus necesidades y presentan claras ventajas (dosis bajas, mínima o nula interferencia en el sabor, condiciones amplias de uso) frente a los insumos clásicos de la cocina. Los chefs modernistas los conocen como “texturizantes” (Sosa, 2013).

Los hidrocoloides son macromoléculas muy solubles en soluciones acuosas, las cuales, producen un aumento de la viscosidad de la solución y en ciertos casos, bajo ciertas condiciones (temperatura, presencia de iones, cosoluto, etc.), tienen un efecto gelificante. Además, éstos poseen otras propiedades funcionales: estabilización de suspensiones y emulsiones, capacidad de retención de agua, poder ligante, formación de complejos con las proteínas, etc. (Multon, 2000).

Dentro de estas macromoléculas, se incluyen polisacáridos y proteínas, todos ellos con gran capacidad de retención de agua, permitiendo coloides altamente hidratados (Mendoza y Calvo, 2011).

Con base en su origen, se clasifican en hidrocoloides de origen vegetal, esencialmente de naturaleza glucídica, e hidrocoloides de origen animal, de naturaleza proteica (caseinatos, gelatina y quitina) (Multon, 2000).

Dada la importancia que representan estos aditivos para la Gastronomía Molecular, se presenta una recopilación de los más empleados, describiendo su origen, sus propiedades funcionales, sus condiciones de uso, solubilidad, viscosidad, interacción con aditivos e ingredientes que forman parte de la matriz alimentaria, así como algunas restricciones de las que son objeto, y finalmente los resultados que se obtienen con su correcta aplicación.

Alginatos (E-400)

Polisacáridos obtenidos a partir de algas pardas marinas, fundamentalmente de *Laminaria hyperborea*, *Macrocystis pyrifera* y *Ascophyllum nodosum*. El alginato fue extraído por primera vez a finales del siglo XIX por el químico inglés E.C. Stanford en forma de alginato de sodio (Sime, 1990). Comercialmente los alginatos están disponibles como sales de sodio, potasio, amonio y raramente en forma de ácido algínico (Multon, 2000).

El alginato y sus sales están formados por dos unidades monoméricas de ácido D-manurónico y L-glucurónico. En cambio, el ácido algínico es un copolímero compuesto a su vez por dos monómeros, el ácido L-glucurónico (G) y el ácido D-manurónico (M) (Multon, 2000).

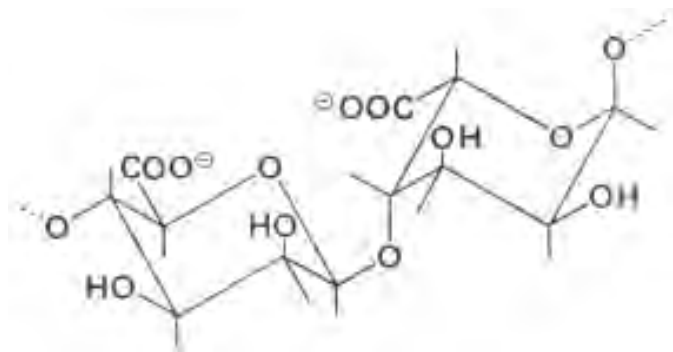


Fig 39. Estructura molecular de los alginatos (izq. ácido D-manurónico, der. ácido L-glucurónico) (Ravnborg, Schiødt y Kihler, 2002)

En solución, estos hidrocoloides tienen un comportamiento no newtoniano. Su uso y funcionalidad colaboran para espesar, gelificar, mantener sólidos en suspensión, emulsionar, estabilizar y hasta formar películas protectoras (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002).

Estos hidrocoloides se caracterizan por su capacidad de gelificación en presencia de iones divalentes (excepto magnesio) y polivalentes. De todos los iones que pueden adicionarse, el calcio es el de mayor importancia, ya que es capaz de

combinar dos grupos funcionales COO^- libres de la molécula de alginato, mediante la formación de puentes entre alginato alto-G, creando estructuras llamadas “caja de huevo”. A baja concentración de iones Ca^{2+} , la red alginato forma soluciones muy viscosas, pero a medida que aumenta la cantidad, la solución se transforma progresivamente en un gel (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002). Por lo tanto, a mayor concentración de alginato, se obtiene una mayor firmeza del gel y una menor tendencia a la sinéresis.

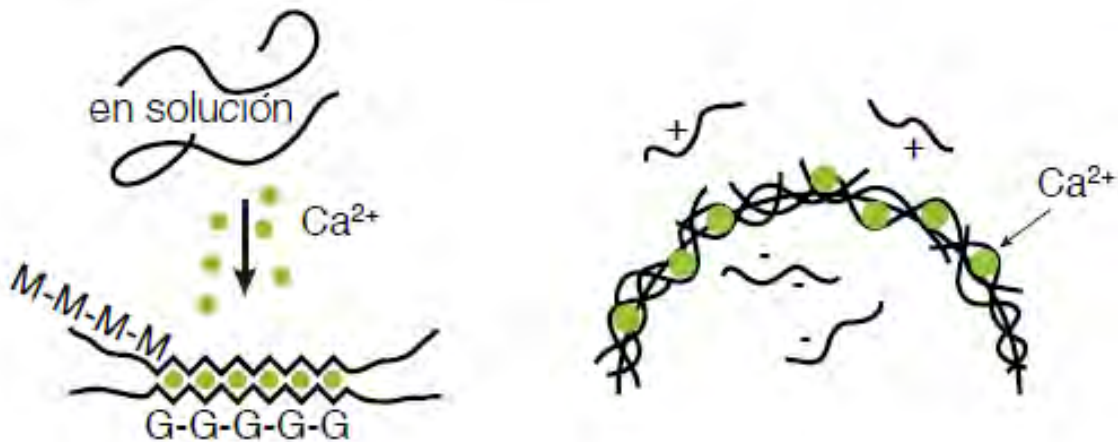


Figura 40. Mecanismo “caja de huevo” de gelificación entre iones Ca^{2+} y alginato (Editado de Soybean lecithin. Cuisineinnovation, 2013)

Asimismo, los iones calcio condicionan sensiblemente la consistencia y textura del gel. Su concentración es directamente proporcional a la firmeza y a la granulosidad. Si la proporción entre el calcio y el alginato es estequiométrica, se logra un gel con tendencia a la sinéresis (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002).

A temperatura ambiente los geles sufren retrogradación, lo que no ocurre cuando se usan como espesantes. A alta temperatura no es posible formar geles porque las cadenas tienen exceso de energía y no se alinean para gelificar (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002).

Cuando el pH es menor de 3.0-3.5, el alginato es insoluble y precipita, formando ácido algínico. La gelificación se alcanza a partir de un pH igual a 5.0. A pH mayor de 10.0, se da un abatimiento de la viscosidad, producto de la despolimerización por rotura del enlace beta del alginato y la hidrólisis (Sime, 1992; Cubero, Monferrer y Villalta, 2002).

La Gastronomía Molecular utiliza los alginatos para crear una de sus técnicas más emblemáticas: la esferificación, que no es más que una gelificación controlada, donde se encapsula un alimento líquido (Castells, 2008).

Propiedades fisicoquímicas

Solubilidad

Los alginatos varían su solubilidad dependiendo de su estructura y de las condiciones del medio. Son solubles en agua tanto en frío como en caliente. Solubilizan a pH cercano al neutro, tendiendo a precipitar a pH ácido. El ácido algínico sus sales di y trivalentes son insolubles. En cambio, el alginato de calcio puede llegar a disolverse en medio básico (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002).

El alginato de sodio, potasio, amónico y de propilenglicol son solubles y pueden actuar como espesantes tixotrópicos y pseudoplásticos en ausencia de iones calcio en el medio, estableciéndose una pasta. Por el contrario, la presencia de iones calcio, da lugar a la formación de geles (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002).

Tabla 16. Solubilidad de los alginatos frente a distintos disolventes

Disolvente	Solubilidad
Agua	Soluble en frío y caliente
Leche	Insoluble
Soluciones Salinas	Soluble en frío y caliente
Soluciones Azucaradas	Soluble en frío y caliente
Etanol	Soluble

Viscosidad

La viscosidad alcanzada por los alginatos en soluciones al 1 % va de 200 a 3500 cps a 20 °C. La resistencia a fluir es directamente proporcional al contenido de iones Ca^{2+} e inversamente proporcional al pH de la solución y a la temperatura (Igoe, 1982; Rosestein, 1997). El decremento de la viscosidad aproximadamente es de un 12 % por cada 5.5 °C que aumente la temperatura. Una disminución de la temperatura, aumenta la viscosidad, pero no influye en la formación del gel (Sime, 1992).

Después de procesos de congelación/descongelación se mantiene la viscosidad inicial (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002).

Interacción con otros aditivos

Los alginatos manifiestan sinergismo con pectinas y almidones. En el caso de las pectinas, se forman geles termorreversibles en condiciones ácidas y sin necesidad de iones calcio. Para el caso de los almidones, se logran hacer geles menos elásticos que si solo se usara alginato. Eso se debe a que los almidones bloquean los grupos carboxilo libres, mediante puentes de hidrógeno, por lo que se eleva la energía de activación necesaria para romper estos puentes y reemplazados por calcio (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002).

El sinergismo ocurre de igual manera con la goma arábica, donde se aplica con el objetivo de microencapsular sabores en alimentos. Con carrageninas se aumenta la viscosidad y se imparte textura (Rosestein, 1997).

Se suelen usar secuestrantes (fosfatos en su mayoría) para controlar el proceso de gelificación y solubilidad, ya que la gelificación con alginatos ocurre rápidamente; con ello, es posible la formación de películas y geles homogéneos (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002).

La adición de alcohol (u otros disolventes polares) a la solución de alginato, disminuye la viscosidad y puede llegar a precipitar al mismo. Soluciones al 1 % de

alginato toleran hasta una concentración de 20 % de etanol y 70 % de glicerol (Carranza, 2000).

Niveles elevados de azúcares solubles disminuyen la fuerza del gel (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002).

A temperatura baja y pH ácido, los alginatos pueden desnaturalizar las proteínas (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002).

Agar (E-406)

Polisacárido que se obtiene del extracto seco de algas marinas rojas de la clase *Rhodophyceae*, procedentes de Japón, México y la Costa Oeste del Océano Atlántico (Multon, 2000). Su aspecto físico es como un polvo blanco-amarillento. Destaca por su naturaleza fuertemente hidrófila y su gran resistencia como gel (Morris, 1986).

El agar está compuesto por dos polímeros: agarosa y agarpectina. La agarosa (el componente predominante del agar), es un polímero lineal, formado por unidades de agarabiosa; ésta a su vez, tiene D-galactosa y 3,6-anhidro-L galactopiranosas. Por otra parte, la agarpectina es una mezcla heterogénea de D-galactosa y L-galactosa con grupos laterales ácidos, tales como sulfato y piruvato (Coultate, 1990).

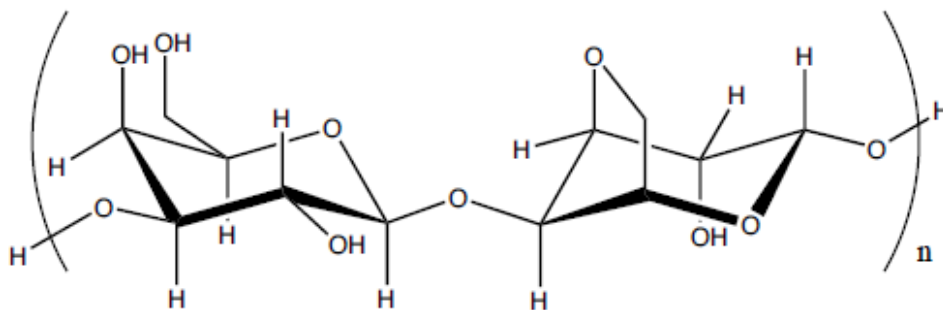


Figura 41. Estructura molecular de la agarosa: (1-> 3)-β-D-galactopiranosas (izquierda) y (1-> 4)-(3,6)-anhidro-α-L-galactopiranosas (derecha) (Cuisineinnovation, 2013)

El agar se usa como agente de suspensión, estabilizante, espesante y gelificante. Sin embargo, es demasiado costoso para aplicaciones alimentarias. Por ello, se opta por agar no fraccionado, que es menos costoso y proporciona la función de gelificación adecuadamente (Stephen, Phillips y Williams, 2006).

La funcionalidad del agar en alimentos depende casi exclusivamente de su gran capacidad para unirse al agua y formar geles termorreversibles. Las propiedades gelificantes son función de la fracción de la agarosa del agar (Stephen, Phillips y Williams, 2006).

Los geles que se obtienen a partir de este hidrocoloide (dosificando desde 0.04 % de concentración), son rígidos, quebradizos y tienden a perder agua (sinéresis) por su envejecimiento. Lo último se atribuye a la agregación de las dobles hélices, lo que resulta en la contracción de la red de polímero, disminuyendo de este modo el espacio intersticial disponible para la retención de agua (Whytock y Finch, 1991). La sinéresis es menos evidente para agar con alto contenido de éster sulfato, que le confiere un carácter hidrófilo (Matsushashi, 1990).

El agar no requiere iones específicos u otros aditivos para inducir la gelificación (Rees, 1972), solo necesita calentarse por encima de su punto de fusión de gel (típicamente 85 °C o más) para disolverse en solución acuosa. Con ello, se forman soles que pueden ser enfriados a una temperatura mucho más baja antes de la formación de geles. Una vez que se ha formado este gel, se debe recalentar a una temperatura más alta para que éste se derrita. Este fenómeno llamado histéresis (amplia diferencia entre la temperatura de gelificación y la de fusión), permite trabajar con la disolución en forma líquida en un rango de temperatura de 40-60 °C, dependiendo del origen del agar (Stephen, Phillips y Williams, 2006).

La temperatura de gelificación del agar aumenta proporcionalmente con respecto al contenido de metoxilo de la agarosa, ubicándose en 35 °C cuando el contenido es de aproximadamente un 1 %, y cambiando a 48 °C a cuando el contenido de ion metoxilo se encuentra en un 8 % (Guiseley, 1970).

La dureza del gel varía sensiblemente con la temperatura y se ve comprometida por la presencia de ácidos, pero no por la presencia de aniones. Por lo tanto, los ácidos concentrados y la temperatura hidrolizan parcial o totalmente al agar, perdiendo su capacidad de gelificación, solo pudiéndose recuperar parcialmente si se adiciona alguna base en el medio (Carranza, 2000).

Propiedades fisicoquímicas

Solubilidad

El agar es insoluble en una solución acuosa fría, pero expande considerablemente debido a la absorción de agua (hasta veinte veces su propia masa). Su disolución completa se logra a los 95 °C. La cantidad normalmente usada está en el intervalo de 0.3 a 2.0 g de este hidrocoloide por cada 100 g de disolución (Carranza, 2000; Cuisineinnovation, 2013).

Tabla 17. Solubilidad del agar frente a distintos disolventes

Disolvente	Solubilidad
Agua	Soluble a partir de 95 °C
Leche	Soluble en caliente
Soluciones Salinas	Insoluble
Soluciones Azucaradas	Insoluble
Etanol	Insoluble

Viscosidad

La viscosidad del coloide depende marcadamente de las especies de algas de la que se extrae el agar y en las condiciones de extracción empleadas (Guiseley, 1972). Dicha propiedad aumenta exponencialmente con la concentración (Kojima, Tagawa y Yamada, 1960).

Si un sol de agar se enfría y se mantiene a una temperatura más baja para luego recalentado a la temperatura inicial, exhibirá una viscosidad más alta a la que

originalmente se había observado a esa temperatura. Pero si la solución coloidal se mantiene a la temperatura más alta, hay una ruptura gradual de la estructura agregada y se produce la disminución de viscosidad cerca de su valor original. Este fenómeno se denomina “histéresis de la viscosidad” (Armisen y Galatas 1987).

Interacción con otros aditivos

Los geles de agar son típicamente frágiles, por lo que la incorporación de goma de algarrobo produce geles más firmes (aumenta la fuerza del gel entre un 50 y 200 % y se evita la sinéresis), muy similares a un gel de gelatina (Deuel y Neukom, 1954). Con la adición de carboximetilcelulosa de sodio también se puede aumentar la fuerza del gel (Carranza, 2000).

Los geles formados cuando se mezcla agar con carrageninas, cloruro de sodio o de potasio, son más elásticos y cohesivos, mientras que con NaBr, NaNO₃, y NaSCN son desestabilizados (Picullel y Nillson, 1989).

La incorporación de sacarosa en el sistema coloidal puede aumentar la resistencia del gel de agar (Nakahama, 1966; Nussinovitch, Kopelman y Mizrahi, 1991). Esto se debe a que el azúcar compite con el agar por el agua en el sistema. Los polioles, tales como etilenglicol (etano-1, 2-diol) y el glicerol, ejercen un efecto similar (Nakahama, 1966; Nakahama, Maeda y Kujira, 1967).

Se ha encontrado que los polioles y la ribosa desplazan a la baja las temperaturas de fusión y de ajuste. Los demás azúcares presentan un efecto contrario (Watase, Kohyama y Nishinari, 1992).

El agar no interactúa fuertemente con las proteínas, ya que carece de número limitado de sitios aniónicos (Stephen, Phillips y Williams, 2006).

Carrageninas (E-407)

Hidrocoloides extraídos de algas marinas rojas de la familia *Rhodophyceae*. Proviene de las costas de Francia, Marruecos, Senegal, Indonesia, Filipinas y Sudamérica (Makymat, 2013). La carragenina aislada es un polvo de color blanco o amarillo pálido (Gremount, 2013). Las carrageninas se caracterizan por formar soluciones de alta viscosidad, con buena transparencia, inodoras y con una buena capacidad de retención acuosa (Makymat, 2013).

Químicamente, son polisacáridos de alto peso molecular, formado por unidades de D-galactosa y 3,6-anhidro-galactosa (3,6-AG) unidas por ligaduras α -1,3 y β -1,4-glucosídica y con un contenido de éster sulfato que va de 15 a 40 %. La posición y la cantidad de estos grupos (directamente proporcional a la solubilidad), así como los cationes asociados a los grupos sulfatados, el contenido de 3,6-AG en la molécula y la presencia de distintos anillos de piranosa son de suma importancia, pues determinan las diferencias principales entre las diferentes carrageninas que existen: kappa, iota y lambda (Makymat, 2013). Lambda carragenina posee una estructura diferente a iota y kappa, ya que está conformado por unidades de D-galactosa-2-sulfato (unión 1,3) y D-galactosa-2,6-disulfato en la unión 1,4 (Solís, 2007).

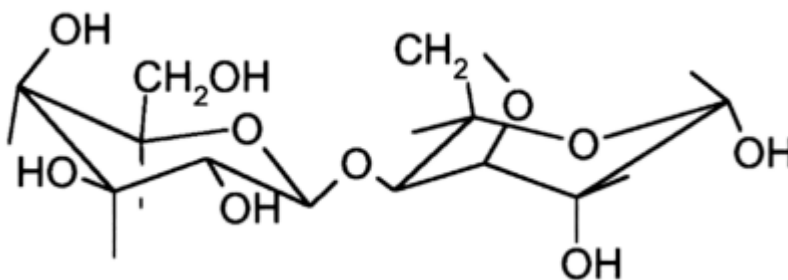


Figura 42. Estructura molecular base de la carragenina (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002)

La carragenina iota se extrae principalmente a partir de *Euchema spinosum*, mientras que a partir de las especies *Euchema cottoni* y *Chondrus crispus* se obtienen grandes proporciones de la carragenina lambda. Por el contrario, a partir

de la *Gigartina* se obtiene una combinación tanto de las fracciones kappa como de lambda (Glicksman, 1969).

Una de las ventajas del uso de las carrageninas son la formación de coloides espesos o geles en sistemas lácteos y/o acuosos a bajas dosis, además de reaccionar con sinergismo con otros hidrocoloides. Presenta una gran capacidad de formar diferentes texturas: firmes o elásticas, frágiles o fuertes, cristalinas o turbias. Son usados como agentes de suspensión de sólidos, espesantes, retención de agua y estabilización (Makymat, 2013).

Propiedades Fisicoquímicas

Solubilidad, Viscosidad e Interacción con otros aditivos

Las carrageninas en sistemas acuosos, presentan las propiedades típicas de los hidrocoloides, impartiendo características espesantes y gelificantes. En sistemas lácteos, reaccionan con las proteínas de la leche, aportando con ello, estabilidad. De hecho, la carragenina lambda, al ser sensible a la presencia de iones Ca^{2+} , tiene un efecto espesante en estos sistemas, contrario a kappa e iota, donde solo la adición de fosfatos (pirofosfato, fosfato tetrasódico) logra dicho efecto (Carranza, 2000).

La máxima estabilidad se logra a pH de 9, aunque son estables desde pH superiores a 7; son por tanto sensibles a los ácidos (se produce la hidrólisis del polímero de carragenina), sobre todo a alta temperatura. Dicha sensibilidad es mayor en kappa, luego en lambda y por último en iota (Glicksman, 1969; Therkelsen, 1993).

Aunque la solubilidad en solución acuosa de las carrageninas es generalmente a 70 °C, la solubilidad en frío se da en lambda y en las sales sódicas de iota y kappa. La hidratación de estos hidrocoloides es sensible a la presencia de sales y disolventes orgánicos (metanol, etanol, acetona, glicerina), abatiendo la solubilidad. Un exceso de sales retarda e inclusive, evita la hidratación y la solubilización de las carrageninas kappa y lambda, no siendo así con iota, la cual, se puede disolver en soluciones salinas (Glicksman, 1983; Larsson, 1990).

Otro factor importante en la solubilidad, es la presencia de azúcares (sacarosa, dextrosa), pues si bien no impide su disolución, si eleva el tiempo y temperatura necesarios para llevarla a cabo. La carragenina kappa y lambda son solubles en caliente en soluciones azucaradas de hasta un 65 % de concentración, mientras que la iota tiene una solubilidad limitada bajo estas condiciones (BeMiller y Whistler, 1993).

A 75 °C generan una viscosidad de 200 cps, en concentraciones de un 1 %. La temperatura es inversamente proporcional a la viscosidad de las carrageninas. Ya que las fracciones kappa e iota gelifican, es necesario usar las fracciones ricas en lambda para obtener soluciones viscosas (Carranza, 2000).

Las carrageninas presentan una alta reactividad con proteínas, siendo determinante en el tipo, concentración, temperatura, pH y el punto isoeléctrico. También dependerá el contenido de 3,6-D-anhidro-D-galactosa en el hidocoloide, así como la cantidad y posición de los grupos sulfato. Cuando la proteína y la carragenina se encuentran en solución por arriba del punto isoeléctrico, se obtiene un precipitado. En cambio, si el pH de la solución es inferior al punto isoeléctrico, no existe precipitación, al estar cargadas ambas moléculas negativamente, lo que genera repulsión entre las mismas. La adición de iones calcio, provoca sales insolubles que precipitan (Glicksman, 1983; Morris, 1986; Therkelsen, 1993; Picullel, 1995).

El sinergismo se alcanza con goma de algarrobo, la cual controla la formación de cristales, imparte textura, brinda buena estabilidad coloidal, aumenta la capacidad y la fuerza de gelificación, eleva la cohesividad y reduce la sinéresis. El uso de carragenina iota y kappa con goma guar y CMC aumenta la cohesividad del gel y con goma Konjac y almidones de trigo y maíz se logra un aumento en la fuerza del gel (Glicksman, 1983; Therkelsen, 1993).

Carragenina kappa I y II

La carragenina kappa I contiene entre 24 y 25 % de éster sulfato y de 34 a 36 % de 3,6 anhidro galactosa (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002; FMC, 2013). A baja temperatura se forman geles opacos, firmes y quebradizos en soluciones acuosas, con una alta capacidad de retención de agua y una fuerte tendencia a la sinéresis.

Los geles son termorreversibles si existen sales como el cloruro de potasio. Se requiere de alta temperatura (80-85 °C) para solubilizarla por completo e imparte baja viscosidad al sistema en el cual es aplicada (Makymat, 2013). Se usa en concentraciones entre un 0.02 y hasta 2.00 %, ya que a partir de esa concentración, es insoluble (FMC, 2013). No se disuelve en la mayoría de disolventes orgánicos.

Por el contrario, la carragenina kappa II posee entre 24 y 26 % de éster sulfato y de 32 a 34 % de 3,6 anhidro galactosa. Forma geles opacos, firmes y elásticos en disoluciones acuosas y en leche, presentando moderada sinéresis (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002; FMC, 2013). Tiene una muy alta reactividad con las proteínas lácteas y requiere de 71 °C para su disolución completa y los niveles de uso típicos son de 0.02 a 2.00 %, pues a partir de esta concentración es insoluble (FMC, 2013). Es insoluble en la mayoría de disolventes orgánicos y su viscosidad es levemente superior con respecto a la carragenina kappa I, debido a su mayor peso molecular (Makymat, 2013).

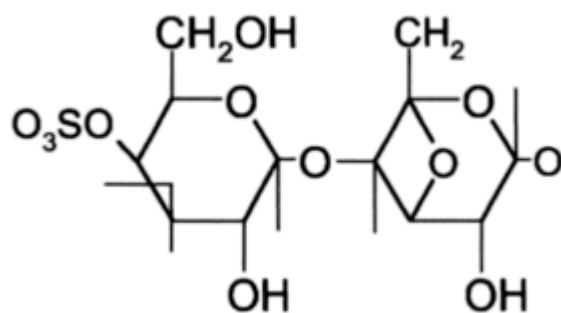


Figura 43. Estructura molecular de la carragenina kappa II
(Cubero, Monferrer y Villalta, 2002)

Tabla 18. Solubilidad de carragenina kappa frente a distintos disolventes

Disolvente	Solubilidad
Agua	A 60 °C. Soluble en frío, en presencia de Na ⁺ e insoluble con K ⁺ y Ca ²⁺
Leche	A 70 °C. En frío insoluble, se hincha

Soluciones Salinas	Insoluble
Soluciones Azucaradas	En caliente (en concentración de 50 %)
Etanol	Insoluble (a 35 %)

La adición de iones K^+ en carragenina kappa (I y II) induce no solo a la formación de un gel duradero y quebradizo, sino que también aumenta la temperatura de gelificación y de fusión (FMC, 2013). Con ello se obtiene un gel fuerte y rígido, con ligera sinéresis, que se ve favorecido a medida que aumenta el contenido de iones potasio (FMC, 2013). La presencia de iones sodio y calcio es contraproducente, al inhibir la gelificación de la carragenina kappa.

Los geles que se obtienen en son ligeramente opacos, pero si se adiciona azúcar se logra un gel transparente (FMC, 2013).

El uso de carragenina kappa I/II junto con goma de algarrobo, da lugar a un gel más duro y elástico, así como un abatimiento de la sinéresis. También el uso de goma Konjac cumple con las funciones anteriores (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002).

Carragenina iota

El porcentaje de éster sulfato es de 30 a 32 % y de 3,6 anhidro galactosa de 28 a 32 % (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002). La diferencia fundamental entre la carragenina iota y kappa radica en la sulfatación, la cual se presenta en las posiciones 2 y 6. Con esta carragenina (a concentraciones usuales de 0.02-20 % y baja temperatura) se obtiene geles termorreversibles, claros, con alta elasticidad y con baja sinéresis en soluciones acuosas y leche; es insoluble en la mayoría de disolventes orgánicos (FMC, 2013).

La carragenina iota se solubiliza en agua a 55 °C y con sodio es soluble en frío (FMC, 2013). Su viscosidad (24 cps) es ligeramente menor en comparación con la carragenina kappa II. Posee un comportamiento tixotrópico en soluciones diluidas, dando por ende, una excelente estabilidad frente a ciclos de congelación y descongelación (Makymat, 2013).

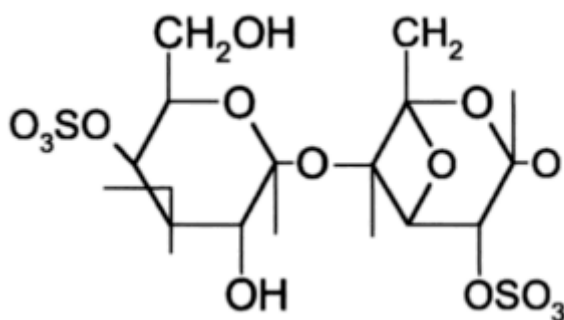


Figura 44. Estructura molecular de la carragenina iota (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002)

Tabla 19. Solubilidad de carragenina iota frente a distintos disolventes

Disolvente	Solubilidad
Agua	A 60 °C. Soluble en frío, en presencia de Na ⁺ e insoluble con K ⁺ y Ca ²⁺
Leche	Soluble a 70 °C
Soluciones Salinas	Soluble en caliente
Soluciones Azucaradas	Baja solubilidad en caliente
Etanol	Insoluble (a 35 %)

La adición de iones de Ca²⁺ en la carragenina iota inducirá la formación de un gel resistente, elástico y con una mayor temperatura de gelificación y fusión, además de suprimirse la sinéresis, al ayudar a crear uniones entre las diversas moléculas de carragenina (FMC, 2013).

El uso de la carragenina iota con almidón, da como resultado un aumento de la viscosidad (Carranza, 2000).

Carragenina lambda

Tiene una proporción del 35 % de éster sulfato y casi no hay presencia de 3,6 anhidro galactosa. De todas las carrageninas, es la más soluble en solución acuosa. Con niveles de uso típico de 0.1 a 1.0 %, es parcialmente soluble en agua fría y

totalmente soluble en agua caliente y leche, y es soluble en frío. En soluciones salinas al 5 %, es soluble tanto en frío como en caliente. Es insoluble en casi todos los disolventes orgánicos (FMC, 2013). Desarrolla una alta viscosidad (comportamiento pseudoplástico) y a diferencia de las demás carrageninas, la fracción lambda no gelifica, gracias a que está altamente sulfatada y a que no presenta el azúcar anhidro y, por lo tanto, tiene menos probabilidad de formar una estructura de gel, obteniendo solamente de ella, soluciones viscosas de 24 cps (Makymat, 2013). Es estable en un amplio intervalo de temperatura, incluyendo los ciclos de congelación y descongelación. Gracias a sus propiedades, este tipo de carragenina es usada principalmente para espesar líquidos y modificar la textura de algunos alimentos (FMC, 2013).

Tabla 20. Solubilidad de carragenina lambda frente a distintos disolventes

Disolvente	Solubilidad
Agua	Soluble por completo a 70 °C. Parcialmente soluble a 20 °C y completamente en presencia de Na ⁺ e insoluble con K ⁺ y Ca ²⁺
Leche	Soluble en frío y caliente
Soluciones Salinas	Soluble en caliente
Soluciones Azucaradas	Soluble en caliente
Etanol	Soluble en presencia de Na ⁺

La adición de cationes tiene poco efecto sobre la viscosidad de la carragenina lambda y no son capaces de inducir la gelificación de sus soluciones (FMC, 2013).

Solo en medio básico y en presencia de Ca²⁺ o K⁺ es posible la gelificación, ya que su grupo sulfato en C-6 desaparece y se obtiene 3,6-anhidrogalactosa (Badui, 2006).

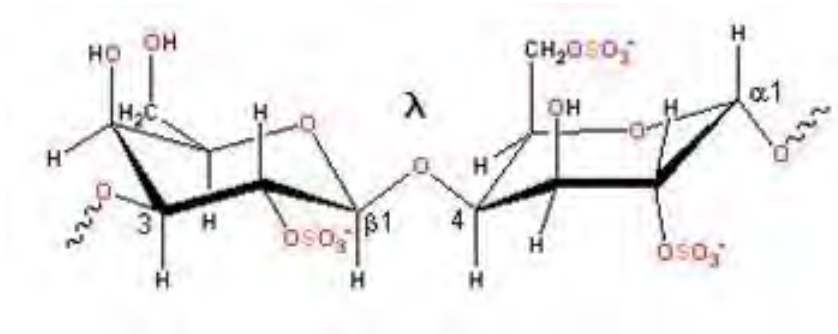


Figura 45. Estructura molecular de la carragenina lambda (TPE, 2013)

Goma de algarrobo (E-410)

También conocida como goma garrofín, se obtiene del endospermo de la semilla de algarrobo (*Ceratonia siliqua*), árbol que crece en países del Mediterráneo. La goma de algarrobo solubiliza totalmente a 80 °C, trabajando óptimamente desde pH 3 hasta pH 11 (Carranza, 2000).

La goma es un galactomanano constituido por una cadena simple de D-manosa con ramificaciones de D-galactosa en proporción de 4 a 1, unidas a través de enlaces (1,6) (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002).

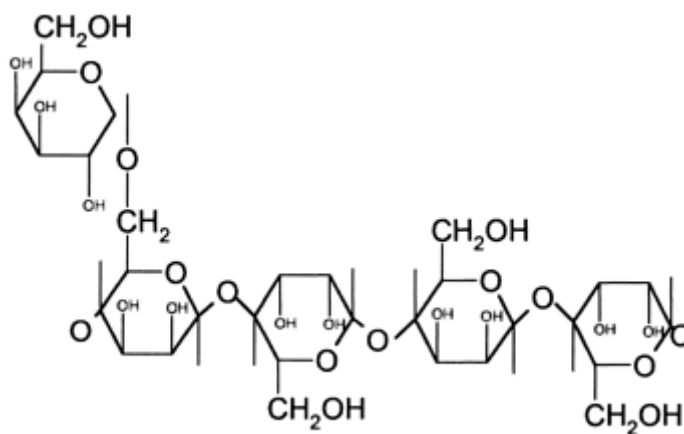


Figura 46. Estructura molecular de la goma de algarrobo (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002)

Se aplica como estabilizante o agente espumante, ligante de agua y en algunos sistemas gelificados como modificador de textura o para inhibir la sinéresis. Puede usarse como espesante, actuando como un pseudoplástico en soluciones acuosas o lácteas. Mejora el punto de fusión en helados, ayudando a la percepción de sabores, así como a soportar cambios de temperatura y aumenta su cuerpo por la incorporación de aire (Calixto, 1982; Maier y Anderson, 1993).

Este hidrocoloide no presenta propiedad gelificante, sin embargo, en combinación con otras gomas (como goma xantana) puede colaborar en la formación de geles. Se ha observado que forman geles plásticos reversibles transparentes y cohesivos que no presentan sinéresis (bajando de un pH de 7 o calentando); y que éstos no se adhieren al vidrio (Dziezak, 1991).

Presenta buena resistencia a alta temperatura y su viscosidad depende de la misma. Es un tanto susceptible a los efectos mecánicos y tiene buena resistencia a los ciclos de congelación y descongelación (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002).

Propiedades Fisicoquímicas

Solubilidad

La solubilidad es directamente proporcional al pH y a cationes divalentes (Branen y Davidson, 1990). En sistemas acuosos y lácteos, la goma de algarrobo es poco soluble en frío, por lo que las dispersiones deben hacerse a 85 °C para lograr una disolución total, la cual se mantendrá una vez que haya disminuido la temperatura. En etanol es soluble hasta en concentraciones de un 20 %. Además, su solubilidad no se ve perturbada por la presencia de sales comunes, aunque puede precipitar si hay sales cuaternarias de amonio y ácido tánico (Furia, 1981; Rosestein, 1997).

Este hidrocoloide puede trabajar en un muy amplio rango de sólidos en solución que puede ir desde 0 hasta un 80 % (Herald, 1983).

El color de las soluciones es blanco translúcido u opaco, dependiendo de las impurezas que se encuentren en ella (Charalambous y Doxastakis 1989; Maier y Anderson, 1993).

Tabla 21. Solubilidad de la goma de algarrobo frente a distintos disolventes

Disolvente	Solubilidad
Agua	Arriba de 85 °C
Leche	Arriba de 85 °C
Soluciones Salinas	Arriba de 85 °C
Soluciones Azucaradas	Arriba de 85 °C
Etanol	Insoluble en concentración mayor al 20 %

Viscosidad

La viscosidad de las soluciones goma de algarrobo va desde 2500 a 3500 cps, logrando el valor más alto, cuando se dispersa la goma en agua a 95 °C y luego se enfría. El pH en el que dicha propiedad es constante está entre 4.0 y 10.5, pero a un valor de pH menor se degrada, por lo que la viscosidad del sistema disminuye debido a que la hidratación de la goma se ve afectada. Además de lo anterior, la viscosidad puede verse afectada por el contenido de galactomananos, tamaño de partícula, humedad, temperatura de la solución y su pureza (Charalambous y Doxastakis 1989; Maier y Anderson, 1993).

Una solución al 2 o 3 % forma una pasta viscosa que no fluye y que no presenta tendencia a formar un gel (Carranza, 2000).

Interacción con otros aditivos

Es compatible con otras gomas, en especial con las carrageninas, que logran disminuir la sinéresis, modificar la textura y aumentar la fuerza del gel. También hace sinergia con goma guar, pues logra disminuir la viscosidad. Otro caso es con

goma karaya, ya que la misma liga el agua e inhibe la formación de cristales (Furia, 1981; Branen, 1990; Rosestein, 1997).

Goma guar (E-412)

Hidrocoloide procedente del endospermo de semillas de guar (*Cyamopsis tetragonolobus*), planta que crece en el subcontinente Indio. Su apariencia es la de un polvo cuyo color va del blanco al amarillento, con sabor suave y casi inodoro. Una de sus principales características es su hidratación en frío (Glicksman, 1986).

La goma guar es un galactomanano que tiene una cadena principal de D-manosa, con ramificaciones de D-galactosa (Badui, 2006).

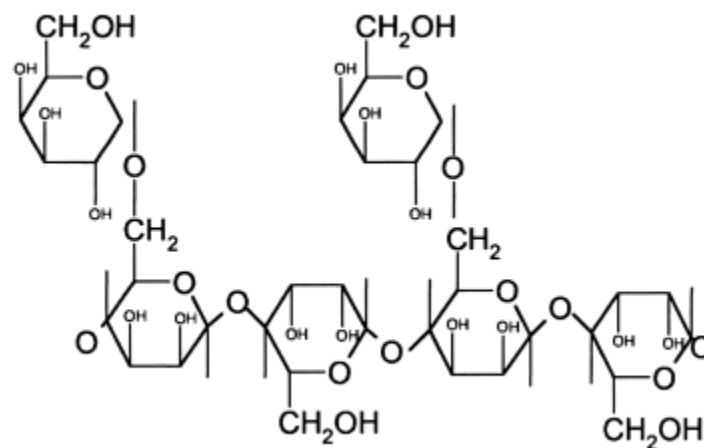


Figura 47. Estructura molecular de la goma guar (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002)

Se usa principalmente como agente espesante con viscosidad en función de la temperatura del medio, aunque puede usarse como estabilizante. Tiene una alta estabilidad térmica y es muy resistente a las variaciones de pH, por lo que es estable tanto en condiciones alcalinas como ácidas, ubicando su rango óptimo de uso en pH entre 3 y 11. La goma guar proporciona alta viscosidad en soluciones acuosas y lácteas, aún en dosis baja y presenta propiedades excepcionalmente más

pseudoplásticas que la mayoría de los hidrocoloides. Esta ventaja importante mejora los atributos sensoriales (liberación de sabor, sensación en la boca) en los productos finales, facilita el procesamiento (mezclado y bombeo) y garantiza una buena capacidad de vertido (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002).

Al calentarse, si los tratamientos térmicos son muy bruscos, pierde parte de su viscosidad. Es sensiblemente menor a efectos mecánicos y se comporta bien frente a los ciclos de congelación y descongelación (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002).

Un inconveniente que presenta la goma guar, es si se usa arriba del 0.5 % de concentración, ya que disminuye la percepción de los sabores y el dulzor, producto de las redes formadas entre el agua y la goma que dificultan el transporte de las moléculas de sabor y de azúcar (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002).

Propiedades Fisicoquímicas

Solubilidad

Puede ser solubilizado en agua fría. Tolera concentraciones limitadas de solventes miscibles en agua, como alcoholes (Glicksman, 1986).

Las soluciones de goma guar son turbias, a causa de la presencia de restos de endospermo en el mismo (Glicksman, 1986).

Tabla 22. Solubilidad de la goma guar frente a distintos disolventes

Disolvente	Solubilidad
Agua	En frío y caliente
Leche	En frío y caliente
Soluciones Salinas	En frío y caliente
Soluciones Azucaradas	En frío y caliente
Etanol	Insoluble a partir del 20 % de concentración

Viscosidad

Es el espesante acuoso más eficiente que se conoce. En frío, genera una alta viscosidad y baja en caliente (aprox. 3000 cps). La disolución de la goma en agua fría da como resultado soluciones viscosas. La viscosidad del hidrocoloide es directamente proporcional a la concentración de la misma y depende del tiempo, temperatura, pH, grado de agitación y tamaño de partícula (Glicksman, 1986).

En agua fría la viscosidad máxima se alcanza después de 1 a 4 horas, pudiendo modificar esto si se solubiliza la goma en agua a temperatura de 25 a 40 °C (Glicksman, 1986).

Interacción con otros aditivos

Existe sinergia entre ésta goma y la goma xantana, al formar geles térmicamente reversibles cuando se calientan por encima de 85 °C y posteriormente se enfrían. También es compatible con almidones, proteínas, goma arábiga, goma karaya, goma de algarrobo, agar, alginatos, carrageninas, pectinas, carboximetilcelulosa (CMC) y metilcelulosa (MC) (Branen, 1990; Rosestein, 1997; Fennema, 2000).

Goma tragacanto (E-413)

Es un exudado gomoso de diversas especies de *Astragalus* (familia de las leguminosas), oriundas de Medio Oriente. Es de todos los hidrocoloides, el que imparte mayor viscosidad dando soluciones coloidales las cuales tienen una textura similar a un gel débil (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002).

Está constituida por una fracción de polisacáridos insolubles en agua conocida como Basorina (constituyente del 60 % al 70 % de la goma), la cual es un complejo de ácidos metoxilados semejantes a la pectina. La fracción hidrosoluble se conoce como tragacantina, que por hidrólisis produce L-arabinosa, L-fucosa, D-xilosa, D-galactosa y D- Acido galacturónico. La parte soluble ayuda a formar soluciones

coloidales mientras que la insoluble produce geles (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002).

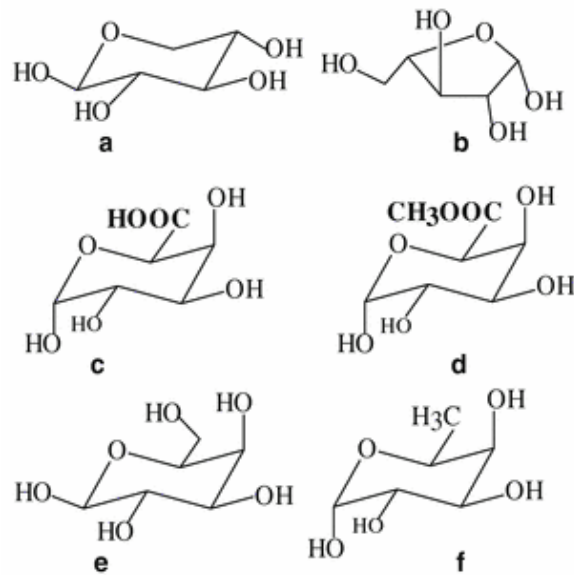


Figura 48. Estructuras de las principales moléculas de la goma tragacanto. a) β-D-xilosa, b) L-arabinosa, c) α-D- ácido galacturónico, d) α-D-metiléster de ácido galacturónico, e) β-D-galactosa, f) α-L-fucosa (Mohamadnia et al., 2008)

La goma tragacanto es estable al calor y a valores de pH por debajo de 2. Funciona como estabilizador en emulsiones y espesante en fase acuosa. Se usa en salsas para añadir textura cremosa. En helados confiere cuerpo, textura, estabilidad y buen cuerpo (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002).

Propiedades Fisicoquímicas

Solubilidad

Es soluble en tanto en frío, como en caliente (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002).

Su solubilidad viene dada por la presencia de grupos carboxilos en su molécula los cuales, le confiere solubilidad si hay adición de sus respectivas sales (Bristhar, 2013).

Por otro lado, la goma es insoluble en alcohol y en otros solventes orgánicos. Puede tolerar bajas concentraciones de alcohol o de glicoles en soluciones acuosas (Bristhar, 2013).

Tabla 23. Solubilidad de la goma de tragacanto frente a distintos disolventes

Disolvente	Solubilidad
Agua	Soluble en frío y en caliente
Leche	Soluble en frío y en caliente
Soluciones Salinas	Soluble en frío y en caliente
Soluciones Azucaradas	Soluble en frío y en caliente
Etanol	Insoluble arriba del 60 %

Viscosidad

De todas las gomas exudadas, esta es la que proporciona la más alta viscosidad, ya que a concentraciones del 1 % alcanza los 3400 cps (por calentamiento a 50 °C durante dos horas o después de 24 horas a temperatura ambiente) (Glicksman, 1984). Entre el 2 y 4 % de concentración se obtiene un gel espeso. Su viscosidad por lo tanto es directamente proporcional a la cantidad de goma en la solución, comportándose como un fluido pseudoplástico. Es más estable a un pH de 4 a 8, ya que en soluciones ácidas o básicas se ve reducida su viscosidad, además de volverse susceptible al ataque de microorganismos (Badui, 2006). A pesar de lo anterior, puede funcionar en sistemas con pH de 2 (Charalambous y Doxastakis 1989).

Interacción con otros aditivos

En presencia de otras gomas (como algarrobo o xantana) no forma geles. Tampoco muestra sinergismo con la goma arábiga, ya que abate la viscosidad. Sin embargo, si ambas son utilizadas en una emulsión, aumenta la estabilidad de la misma (Charalambous y Doxastakis 1989; Maier y Anderson, 1993).

En productos lácteos la goma tragacanto se usa en presencia de CMC, MC, goma guar y goma xantana, para aumentar la viscosidad (Charalambous y Doxastakis 1989).

En mezcla con carrageninas y goma de algarrobo se forma un gel fuerte y de alta viscosidad. Con una mezcla de goma karaya, goma de algarrobo, pectinas, alginatos, CMC y MC se obtienen geles con baja viscosidad (Maier y Anderson, 1993).

Goma arábica (E-414)

Polisacárido de color blanco o amarillo pálido que se obtiene al remover la corteza de árboles como *Acacia Senegal* (de ahí que también se le conozca como goma Acacia). Esta goma se caracteriza por tener una alta solubilidad en agua (hasta 50 %) (Meer, Meer y Tinker, 1975).

La Goma arábica se compone principalmente de polisacáridos de alto peso molecular e iones calcio, magnesio y potasio, que por hidrólisis dan L-arabinosa, D-galactosa, L-ramnosa y ácido glucurónico (Roeper, 2006).

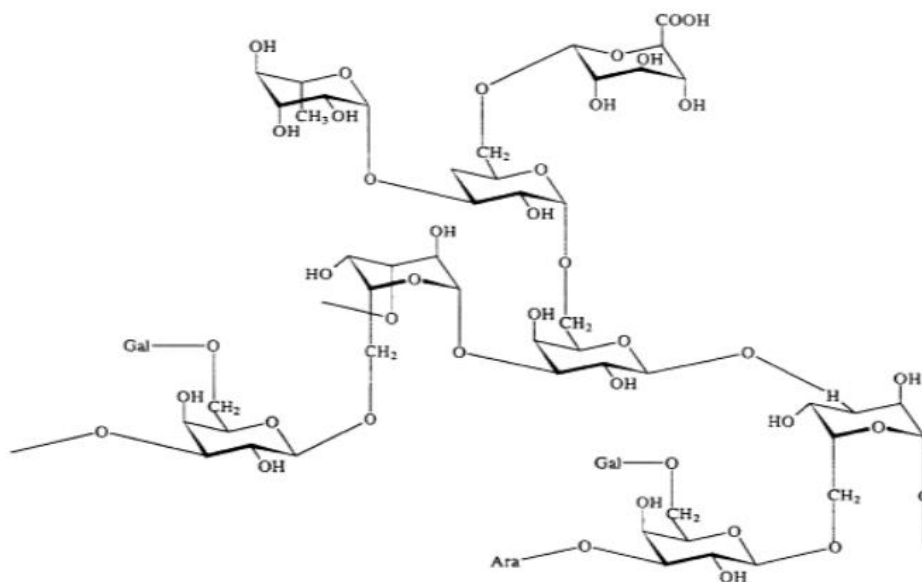


Figura 49. Estructura molecular de la Goma Arábica (Roeper, 2006)

Tiene también la peculiaridad de que en soluciones con una concentración menor al 40 % presenta un comportamiento newtoniano (su viscosidad es constante en el tiempo), mostrando arriba de ese porcentaje las típicas características pseudoplásticas de las gomas. Presenta una alta estabilidad desde pH 2 hasta pH 10 (Lineback, 1982; Badui, 2006).

Es un excelente agente emulsificante en sistemas agua en aceite (W/O). Es utilizado también como encapsulante de aceites esenciales (en presencia de almidones modificados) en un amplio rango de pH, ya que protege, aísla de la oxidación y evita la pérdida de los componentes volátiles (Torres, 1997). Actúa además como estabilizante de espumas (Rosestein, 1997).

Propiedades Fisicoquímicas

Solubilidad

La solubilidad aumenta arriba de un pH de 6. Pierde estabilidad a pH ácido, debido a que se hidroliza. El rango óptimo de sólidos en solución de la goma arábica es de 0 al 8 % (Rosestein, 1997; Cubero, Monferrer y Villalta, 2002).

Tabla 24. Solubilidad de la goma arábica frente a distintos disolventes

Disolvente	Solubilidad
Agua	En frío y en caliente
Leche	En frío y en caliente
Soluciones Salinas	En frío y en caliente
Soluciones Azucaradas	En frío y en caliente
Etanol	Insoluble arriba del 60 %

Viscosidad

La influencia de los grupos ácidos presentes en la goma arábica, provoca que la viscosidad de sus dispersiones se vea afectada por la adición de ácidos o bases y por la presencia de cationes. Ello hace que la viscosidad sea baja a pH bajo,

incrementando su estabilidad en pH neutro entre 6 y 7. Otro factor determinante es la temperatura, ya que al incrementar reduce su viscosidad considerablemente (Larsson, 1990).

En concentraciones arriba de un 25 %, la viscosidad aumenta muy lentamente; sin embargo, abajo del valor anterior, la viscosidad aumenta directamente proporcional al contenido de goma. En soluciones al 30 % tiene cerca de 100 cps. Al 40 % o más, se comporta como un pseudoplástico, ya que decrece su viscosidad y aumenta su resistencia al esfuerzo (Carranza, 2000).

Interacción con otros aditivos

Es compatible con otros hidrocoloides vegetales, algunas proteínas, carbohidratos y almidones. En contraste, resulta incompatible en presencia de alcoholes solubles en agua, goma xantana, alginatos, grenetina y alginato de sodio (Rosestein, 1997).

Presenta sinergismo con goma karaya o con goma tragacanto, aumentando la estabilidad de las emulsiones. Con almidones modificados y goma de mezquite encapsula aceites esenciales. Con metilcelulosa al 6 % en solución y con 4 % de arábica se genera una viscosidad de 50 cps. Con CMC al 2 % y goma arábica al 2 % se obtiene una mezcla útil para deshidratar jugos y bebidas y para encapsular colores y sabores (Chen, 1998).

Goma xantana (E-415)

Goma de sabor neutro obtenida desde los años 50's a partir de la fermentación aerobia, de un medio rico en carbohidratos, utilizando al microorganismo *Xanthomonas campestris* (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002).

La goma xantana está compuesta por un esqueleto celulósico principal, con ramificaciones de trisacáridos unidos a glucosa. Posee unidades de manosa, manosa acetilada, ácido pirúvico y ácido glucurónico. La presencia de estos dos

últimos, le confiere a la goma características aniónicas (Charalambous y Doxastakis, 1989; FMC, 2013).

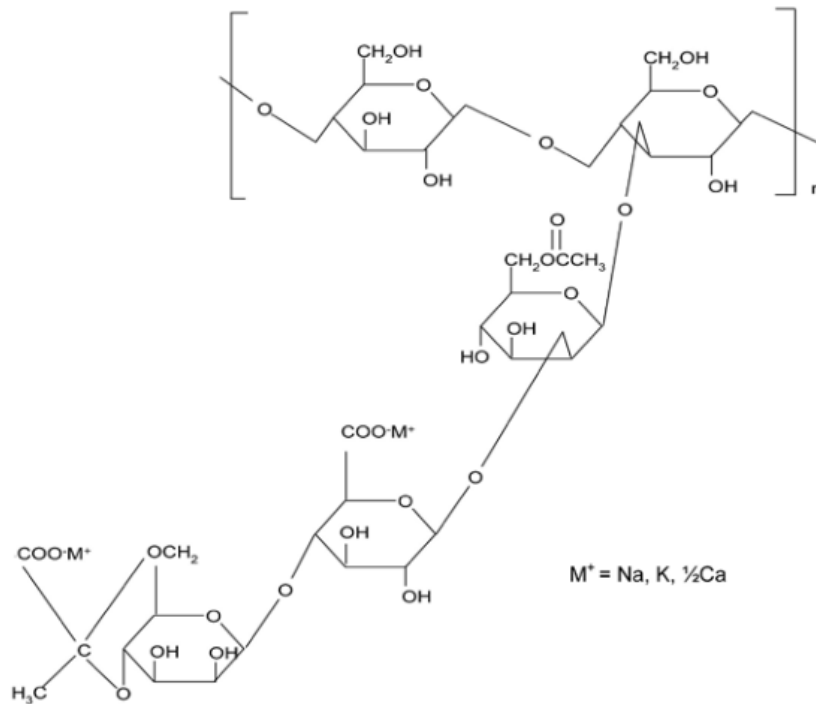


Figura 50. Estructura molecular de la goma xantana (Sharma, Narres y Dhuldhoya, 2006)

Funciona de forma óptima entre pH 1 hasta 11, aunque es más estable en condiciones de acidez. No se ve afectada por acción enzimática y es muy estable a cambios de temperatura y pH. Precipita si se encuentra en solución láctea a pH por debajo del punto isoeléctrico de las proteínas de la leche (Hennoek, 1984; Kang y Pettitt, 1993).

Se emplea como espesante (forma soluciones no tixotrópicas y viscosas) y como gelificante (Rosestein, 1997). Sobre la gelificación, ésta sólo se logra si hay goma de algarrobo en el medio. Dichos geles son termorreversible cohesivos, gomosos, sin sinéresis, quebradizos y transparentes (Sharma, Narres y Dhuldhoya, 2006).

Propiedades Fisicoquímicas

Solubilidad

La goma xantana es fácilmente soluble en agua fría y caliente. Es necesaria una intensa agitación para dispersarla y puede ser disuelta directamente en muchas soluciones ácidas. Las soluciones también tienen inusual compatibilidad y estabilidad en presencia de la mayoría de las sales (Jungbunzlauer, 2008).

En presencia de etanol, la solubilidad disminuye, volviéndose insoluble a concentraciones superiores a 50 % (Belitz, 2009; Jungbunzlauer, 2008).

Normalmente la goma se usa en cantidades que varían de 0.1 a 0.5 g por 100 g de la preparación final (Cuisineinnovation, 2013).

Tabla 25. Solubilidad de la goma xantana frente a distintos disolventes

Disolvente	Solubilidad
Agua	Soluble en frío y en caliente
Leche	Soluble en frío y en caliente
Soluciones Salinas	Soluble en frío y en caliente
Soluciones Azucaradas	Soluble en frío y en caliente
Etanol	Soluble hasta 50 % de concentración

Viscosidad

Presenta una alta viscosidad antes de 100 °C. La viscosidad aumenta en función a la concentración del hidrocoloide, aunque no se requiere de una gran cantidad para tener una viscosidad mayúscula. Una concentración moderada da como resultado un gel aparente en reposo, con poca resistencia al mezclado. La viscosidad no se ve afectada a pH ácido, pero es afectada a altas temperaturas (Carranza, 2000).

A 0.1 % de concentración tiene un aumento significativo de la viscosidad (aprox. 100 cps), mientras que a 1.0 % a una concentración la viscosidad es muy elevada (1000 cps) (Sharma, Narres y Dhuldhoya, 2006).

La adición de electrolitos, tales como cloruro de sodio y potasio, aumenta la viscosidad y la estabilidad. Sales divalentes como calcio o magnesio tienen un efecto similar sobre la viscosidad. La viscosidad óptima se alcanza usando una concentración de sal aproximadamente del 0.1 % (Carranza, 2000).

Interacción con otros aditivos

La adición de Ca^{2+} mejora la solubilidad de la goma (Furia, 1981; Branen, 1990).

Los geles con goma xantana son elásticos y termorreversibles si se emplea con goma de algarrobo, Konjac o algarrobo. El uso de goma guar, genera soluciones muy viscosas, al igual que cloruro de sodio o potasio al 1 %. Efecto inverso el que se logra con la presencia de electrolitos por debajo del 0.15 %. Aparte, los electrolitos le confieren resistencia a los tratamientos térmicos, desde -4 hasta 93 °C (Hennock, 1984; Kang y Pettitt, 1993).

Puede usarse sin restricción con almidón o alginato de sodio. El alginato eleva la adhesividad de la goma xantana (Belitz, 2009).

No debe usarse con cualquier derivado de celulosa, ya que la goma xantana contiene enzimas que degradan la celulosa (Cuisineinnovation, 2013). Igualmente es incompatible con oxidantes fuertes (H_2O_2) o NaOCl , y sales divalentes como magnesio, calcio o bario (Sharma, Narres y Dhuldhoya, 2006).

La goma xantana es altamente resistente a la degradación enzimática, debido a la naturaleza de los enlaces de azúcar y los sustituyentes de la cadena lateral en la cadena principal del polisacárido. Por lo tanto, puede ser utilizada en la presencia de la mayoría de las enzimas comunes tales como galactomananos, celulasas, amilasas, pectinasas y proteasas (FMC, 2013).

Goma karaya (E-416)

Se obtiene por exudación de árboles del género *Sterculia*. Tiene una baja solubilidad en agua y a altas concentraciones es muy viscosa, mostrándose en solución como un pseudoplástico a un pH óptimo de entre 4.3 y 4.8 (Carranza, 2000).

La goma karaya es un polisacárido parcialmente acetilado que consta de una cadena principal compuesta por D-galacturónico, L-ramnosa y D-galactosa, presentando también cadenas laterales de D-glucurónico (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002).

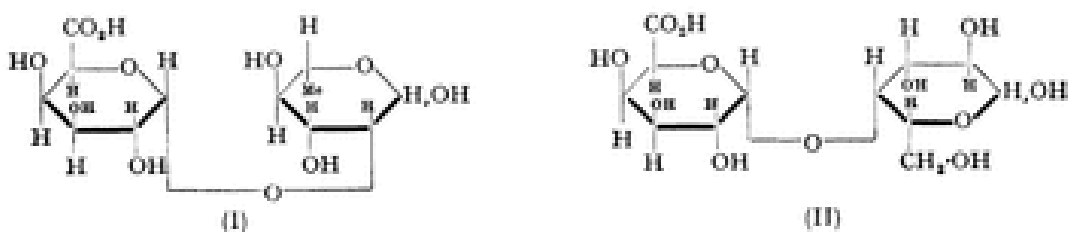


Figura 51. Estructura molecular de la goma karaya (Hirst y Dunstan, 1953)

Las dispersiones preparadas con agua fría presentan una alta viscosidad, sin embargo, el calentamiento eleva su solubilidad (Carranza, 2000).

Con la goma karaya se pueden formar geles aparentes en concentraciones del 2 al 3 %. Además, se logra hacer películas suaves, sobre todo si se usa en combinación con glicoles para plastificar (Rosestein, 1997).

Como agente emulsificante en sistemas aceite en agua (O/W) previene la separación de fases, sobre todo en aderezos para ensaladas. Por su capacidad ligadora de agua libre, es utilizada para la elaboración de merengues, coberturas y cremas para batir (Glicksman, 1969; Glicksman, 1983; García, 1987; BeMiller y Whistler, 1993).

Propiedades Fisicoquímicas

Solubilidad

Ésta goma es una de las menos solubles en solución acuosa, de hecho, no se solubiliza, sino que absorbe el agua. Se alcanza la máxima disolución entre pH 6 y 8. En medio ácido, la solubilidad disminuye y la solución se aclara, mientras que en medio alcalino ésta se oscurecerá (debido a la presencia de taninos), disminuyendo también la solubilidad (Glicksman, 1983).

Tabla 26. Solubilidad de la goma karaya frente a distintos disolventes

Disolvente	Solubilidad
Agua	En caliente
Leche	En caliente
Soluciones Salinas	En caliente
Soluciones Azucaradas	En caliente
Etanol	Al 60 % de concentración se hincha

Viscosidad

Genera una viscosidades que van desde los 400 cps (en solución al 0.5 %) hasta 10,000 cps cuando se encuentra al 3 % de concentración en solución acuosa. Cuando se usa en concentraciones de hasta 4 % se obtienen geles o pastas (Leung, 1980). Las altas temperaturas afectan la viscosidad de la solución, por lo cual es recomendable hidratar la goma con agua fría (Charalambous y Doxastakis 1989).

A valores menores de pH 7 hay una pérdida de los grupos acetilo (producto de una rápida saponificación) aumentando la viscosidad en la solución. Este fenómeno irreversible se conoce como deacetilación (Carranza, 2000).

Interacción con otros aditivos

La goma karaya presenta sinergismo con alginato/carragenina, ya que aumenta con ellos la capacidad para ligar agua en los sistemas alimentarios (Furia, 1981).

Además, la adición de electrolitos como cloruro de calcio, de sodio o sulfato de aluminio abaten la viscosidad de las soluciones (Carranza, 2000).

Goma gellana (E-418)

Polisacárido que se obtiene desde 1978 por fermentación aeróbica de la glucosa por medio de la bacteria *Sphingomonas elodea*. Se caracteriza por ser termoestable y resistente a pH ácido (DEIA, 2013).

La goma gellana está disponible en dos formas: alto o bajo contenido de acilo. Los grupos acilo tienen una profunda influencia en las características del gel. La forma de alto acilo produce geles blandos, elásticos y resistentes, mientras que la de bajo acilo da geles firmes, no elásticos y quebradizos (CPKelco, 2004).

Su estructura está conformada por una secuencia lineal de tetrasacáridos constituidos por unidades de glucosa, ramnosa y ácido glucurónico. Posee de igual forma grupos acetilo y glicerilo unidos a glucosa (Morris, 1990).

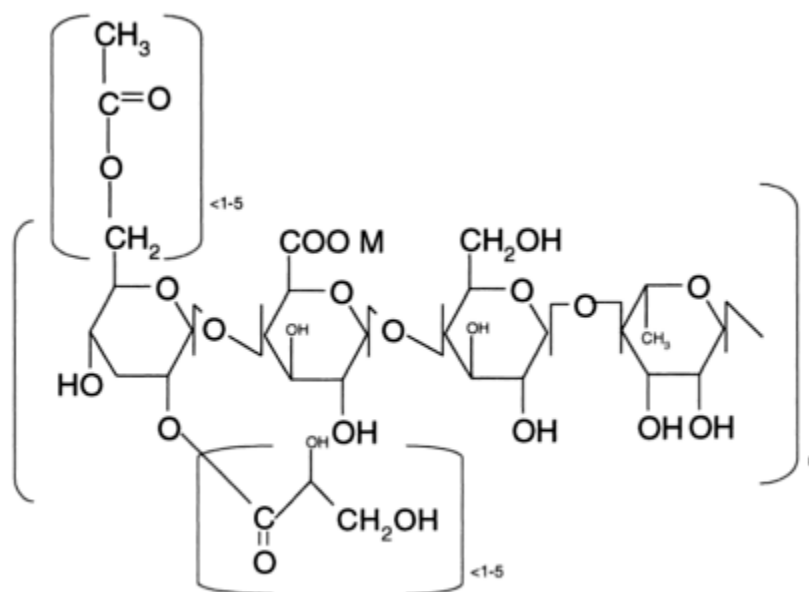


Figura 52. Estructura molecular de la goma gellana (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002)

Se precisa de 0.25 % de concentración en solución y de iones en cantidad suficiente (sobre todo Ca^{2+} y Mg^{2+}), para lograr la gelificación de la goma (principalmente con la goma de bajo acetilo). Dependiendo la concentración e iones presentes (0.016-0.050 %), la goma gellana es capaz de proporcionar geles con diversas texturas, así como puntos de fusión (hasta 100 °C) y gelación variables (25-40 °C con Ca^{2+} y 40-50 °C con Mg^{2+}) (Morris, 1990). Funciona en el espectro de pH de 3.5 a 10 (CPKelco, 2004).

Los geles gozan de una percepción mucho más intensa de sabor, con respecto otros hidrocoloides, gracias a su firmeza, fragilidad y baja dureza (Morris, 1990; Winston, 1992).

En la Gastronomía Molecular, son empleados en la preparación de geles calientes (arriba de 90 °C) en concentraciones del 0.1 al 1 % (Cuisineinnovation, 2013).

Otros usos dentro de los alimentos son aportar textura, dar estabilidad, formar de películas y producir suspensiones (Morris, 1990).

Propiedades Fisicoquímicas

Solubilidad

Requiere de agua para solubilizar en la misma o en su defecto, de cationes en frío para lograr la gelificación (Carranza, 2000).

Tabla 27. Solubilidad de la goma gellana frente a distintos disolventes

Disolvente	Solubilidad
Agua	Soluble en frío (con cationes)
Leche	Soluble
Soluciones Salinas	Soluble
Soluciones Azucaradas	Soluble
Etanol	Soluble

Viscosidad

Sus soluciones se comportan como pseudoplásticos, altamente tixotrópicos y con viscosidades aparentes altas, resultado de la formación de una red similar a la de un gel (CPKelco, 2004; Tech-Way, 2013).

La viscosidad de la goma muestra una fuerte dependencia de la concentración de cloruro de sodio, siendo directamente proporcional a la cantidad de la última (Tech-Way, 2013).

Interacción con otros aditivos

La presencia de agentes fuertemente oxidantes y reductores, provocan la degradación de la goma. Por si esto no fuera, los surfactantes catiónicos precipitan a la goma, debido a la interacción entre estos y las cargas negativas de los grupos carboxilos del hidrocólide (Morris, 1990).

Los cambios en la concentración de iones no modifican la fuerza del gel ni su elasticidad, aunque la fragilidad si disminuye en incrementos de Ca^{2+} o Mg^{2+} (Morris, 1990).

Si la concentración de iones es demasiado alta, el agente gelificante (principalmente el de bajo acilo) no hidrata adecuadamente o requerirá una temperatura excesiva para hidratar. La temperatura de hidratación del hidrocólide es directamente proporcional a la cantidad de iones calcio o sodio presentes, aunque no es tan sensible a este último. Lo anterior se puede evitar, mediante el uso de secuestrantes, por ejemplo, el hexametáfosfato de sodio (SHMP) o el citrato de sodio, el cual funciona por encima de pH 6 (Myhrvold, Young y Bilet, 2011).

Una concentración de sacarosa al 30 % hace más sensible a la goma de la acción de los iones calcio, mientras que a 40 %, la fuerza de gelificación se abate (Morris, 1990).

Hay sinergia entre la goma gellana y goma guar o con carrageninas. El empleo de almidones mejora significativamente la estabilidad. Es complementaria con alginatos, debido a que los dos requieren iones calcio para gelar (Carranza, 2000).

Si se combina la grenetina, esta gelificará más rápidamente sin necesidad de refrigeración, además de lograr geles termoestables. Su uso en soluciones de goma xantana o algarrobo reduce la fragilidad de los geles construidos (Carranza, 2000).

Goma Konjac (E-425)

Extraído del tubérculo de la planta *Amorphophallus Konjac*, cultivada en Asia. Las soluciones obtenidas presentan un comportamiento pseudoplástico, sin síntomas de tixotropía (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002).

Ésta compuesto por unidades de glucomanano (manosa y glucosa, 3:2) con ramificaciones y grupos acetilo (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002).

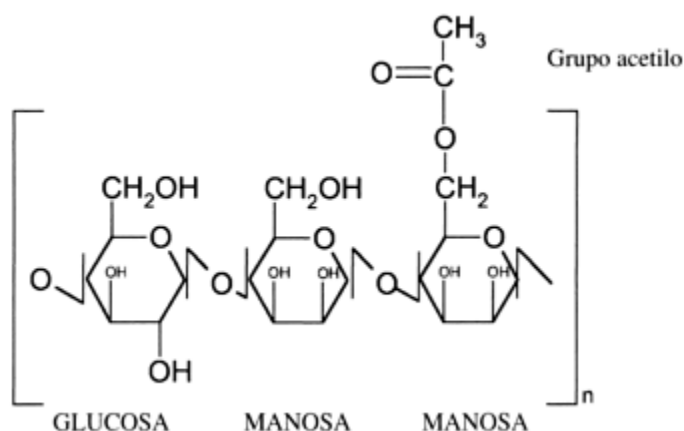


Figura 53. Estructura molecular del glucomanano (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002)

Forma geles elásticos y estables al calor y al derretimiento, en un intervalo de 40 a 60 °C. El grado de gelificación es proporcional al contenido de grupos acetilo. Su

formación no depende de la presencia de cationes y es resistente a cambios de temperatura y pH. Sin embargo, no puede resistir temperaturas mayores a 80 °C por mucho tiempo (Sidley Chemical, 2013).

Propiedades Fisicoquímicas

Solubilidad

En solución acuosa es fácilmente disuelto, pero insoluble en disolventes orgánicos (Sidley Chemical, 2013). La solubilidad aumenta con respecto al incremento de la temperatura y debido a la agitación mecánica de las soluciones. Su espectro de solubilidad se ubica entre pH 4 y 7 (Cyber Colloids, 2013).

Tabla 28. Solubilidad de la goma Konjac frente a distintos disolventes

Disolvente	Solubilidad
Agua	En frío y en caliente
Leche	En frío y en caliente
Soluciones Salinas	En frío y en caliente
Soluciones Azucaradas	En frío y en caliente
Etanol	Insoluble

Viscosidad

La goma Konjac en solución crea fluidos no newtonianos con una alta viscosidad (hasta 360,000 cps), que disminuye a medida que la temperatura aumenta. Su viscosidad óptima se logra en el intervalo de pH 3 a 9 (Sidley Chemical, 2013).

Interacción con otros aditivos

Efecto sinérgico con kappa carragenina y goma xantana. Con la primera se forman geles elásticos y termorreversibles una vez calentados y enfriados. Con el segundo

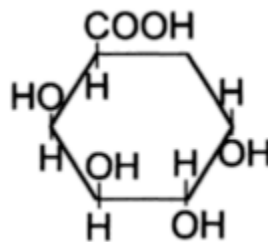
hidrocoloide se forman geles con propiedades viscoelásticas únicas. Con almidón se mejora la viscosidad de la solución de goma Konjac (Carranza, 2000).

El uso de bases en la disolución, mejora la formación de geles fuertes y termoestables, a causa del rompimiento de los grupos acetilo, lo que reduce la solubilidad en solución acuosa y permite consecuentemente la formación de una red tridimensional de puentes de hidrógeno (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002).

Pectinas (E-440)

Son un grupo de heteropolisacáridos que se encuentran en las paredes de las células vegetales (Lopes da Silva y Rao, 2006). Son extraídas a partir de los subproductos de frutas y hortalizas (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002). En general, se obtienen geles que se retrogradan y dependiente de la concentración de azúcar para resistir los procesos de congelación/descongelación (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002).

Están conformadas por unidades de ácido poligalacturónico esterificado parcialmente con grupos metilo y cadenas laterales de L-arabinosa y D-galactosa (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002). Debido a la presencia de grupos carboxilo libres, las soluciones de pectina exhiben pH ácido; una solución acuosa de pectina al 1 % puede tener un pH de 2.7 a 3.0 (Lopes da Silva y Rao, 2006).



*Figura 54. Estructura molecular del ácido poligalacturónico
(Cubero, Monferrer y Villalta, 2002)*

Existen dos tipos de pectinas: de alto y bajo metoxilo. Las de alto metoxilo se caracterizan por gelificar en medio ácido, mientras que las de bajo metoxilo

requieren la presencia de iones calcio (comúnmente cloruro de calcio) para lograr dicho fenómeno (Coulter, 1990).

La temperatura es inversamente proporcional a la cohesión entre moléculas (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002).

Conforme se acidifica el medio, se incrementa la formación de geles (Rosestein, 1997).

Los sólidos solubles tienden a insolubilizar a las pectinas, provocando así, que aumente la capacidad de gelificación (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002).

Las pectinas de bajo metoxilo solo gelifican en presencia de iones Ca^{2+} (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002).

El sinergismo se da con goma guar, al aumentar así la clarificación. Con goma de algarrobo, guar, Konjac y xantana la gelificación se magnifica (Rosestein, 1997).

Propiedades Fisicoquímicas

Solubilidad, Viscosidad e Interacción con otros aditivos

Pectina de alto metoxilo (HM)

Presenta un alto grado de esterificación (arriba del 50 %) y gelifican cuando el contenido de sólidos solubles es mayor al 55 % y en un pH de entre 2.0 y 3.5. Los geles producidos con la pectina de alto metoxilo son elásticos, blandos, no reversibles por efecto del calor. Son solubles en solución acuosa y láctea, creando soluciones con alta viscosidad (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002).

Hay dos variantes de esta pectina, que difieren en la temperatura de gelificación. Éstas son las denominadas “rapid set” o de gelificación rápida, que gelifica incluso a alta temperatura, y las conocidas como “slow set” o de gelificación lenta, que logran la gelificación en menor tiempo (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002).

Su solubilidad es inversamente proporcional al contenido de sólidos solubles. Entre mayor sea el grado de esterificación, mayor solubilidad en frío. También la

solubilidad baja en presencia de Ca^{2+} y compuestos de baja masa molecular (Branen, 1990).

Tabla 29. Solubilidad de la pectina de alto metoxilo frente a distintos disolventes

Disolvente	Solubilidad
Agua	En caliente
Leche	En caliente y en frío
Soluciones Salinas	Insoluble
Soluciones Azucaradas	En caliente
Etanol	Insoluble si concentración es > al 20 %

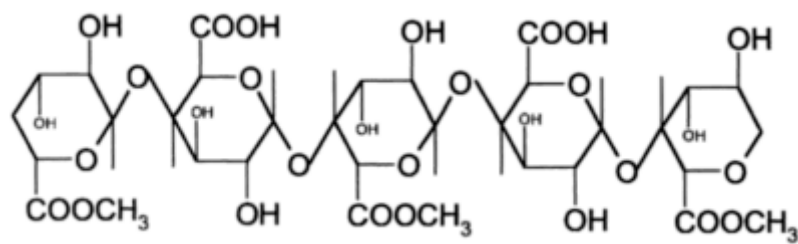


Figura 55. Estructura molecular de la pectina de alto metoxilo (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002)

Pectina de bajo metoxilo (LM)

Se caracteriza por un grado de esterificación menor al 50 % y no es dependiente de azúcar o condiciones ácidas para gelificar, pero si requiere de ciertas cantidades de iones Ca^{2+} u otras sales divalentes. Por lo anterior, ésta pectina es usada como gelificante y espesante en sistemas lácteos (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002).

La formación de geles se da en una amplia concentración de sólidos solubles, incluyendo desde un 10 hasta un 80 %, y valores de pH de 2.5 a 6.5. Dichos geles son termorreversibles, más o menos cohesivos (dependiendo del contenido de iones calcio y del pH) (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002).

La solubilidad de las pectinas de bajo metoxilo en frío se ve mejorada en pH neutro, por lo que si no es el caso, es recomendable su hidratación en caliente (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002).

Tabla 30. Solubilidad de la pectina de bajo metoxilo frente a distintos disolventes

Disolvente	Solubilidad
Agua	En caliente
Leche	En caliente
Soluciones Salinas	Insoluble
Soluciones Azucaradas	En caliente
Etanol	Soluble hasta 20 % de concentración

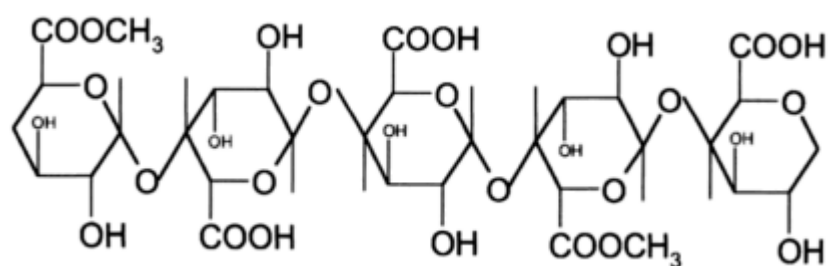


Figura 56. Estructura molecular de la pectina de bajo metoxilo
(Cubero, Monferrer y Villalta, 2002)

Grenetina (E-441)

Proteína que se aísla del colágeno extraído de huesos, cartílagos y pieles de algunos animales, a partir de hidrolisis ácida (tipo A) o básica (tipo B). Ha sido aislada industrialmente desde el siglo XVII. La diferencia entre los dos tipos de grenetina es la carga, el punto isoeléctrico y el animal del que se extrae. La de tipo A se obtiene de ganado bovino, teniendo carga positiva y punto isoeléctrico de pH 7 a 9. La tipo B es de origen porcino, carga negativa y punto isoeléctrico de pH 4.7 a 5 (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002).

La gretina a nivel industrial se clasifica de acuerdo a los grados Bloom (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002). Un Bloom (llamado así por Oscar Bloom, inventor de un dispositivo de medición de gelatina) es una unidad de medida que cuantifica la fuerza de gelificación. Cuanto mayor sea el grado, más fuerte es la capacidad de gelificación. Dentro de la Gastronomía Molecular, la gretina Bloom 160 es la que más se emplea (Myhrvold, Young y Bilet, 2011).

Químicamente se conforma por una secuencia única de aminoácidos, donde destaca por su alto contenido, hidroxiprolina, prolina y glicina (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002).

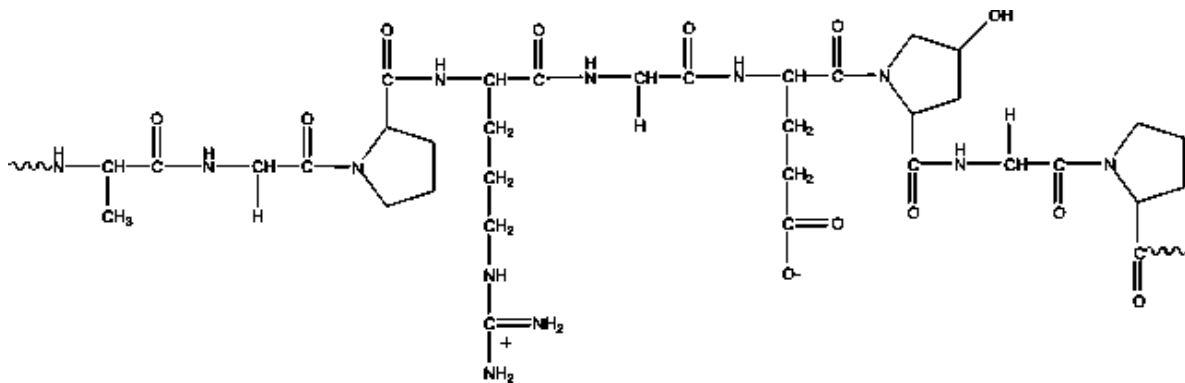


Figura 57. Estructura molecular de la gelatina (Chaplin, 2012)

Los geles obtenidos son termorreversibles, sensibles a la temperatura del sistema y al pH del medio. Para alcanzar geles rígidos, se requiere de concentraciones que van del 10 al 30 % (Myhrvold, Young y Bilet, 2011).

Posee carácter anfótero (a causa de su naturaleza proteínica). De pH 4 a 8 posee su punto isoeléctrico, siendo estable a más de 65 °C (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002).

A pH de 5 a 7 se genera coacervación esto es, la unión de la gelatina de tipo A y B, lo cual trae como consecuencia, una disminución en la efectividad de la protección de la gelatina (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002).

A pH de 3, la fuerza del gel se pierde a altas temperaturas. Esto no ocurre a pH neutro. El rango óptimo de pH va de 4 a 6 (Carranza, 2000).

Propiedades Fisicoquímicas

Solubilidad

Es relativamente insoluble en agua fría pero soluble en solución acuosa y láctea arriba de 40 °C. Lo mismo para soluciones salinas y azucaradas. Su solubilidad no se ve influenciada por la presencia de iones en solución (Myhrvold, Young y Bilet, 2011).

Tabla 31. Solubilidad de la grenetina frente a distintos disolventes

Disolvente	Solubilidad
Agua	Soluble arriba de 40 °C
Leche	Soluble arriba de 40 °C
Soluciones Salinas	Soluble arriba de 40 °C
Soluciones Azucaradas	Soluble arriba de 40 °C
Etanol	Insoluble

En agua fría las partículas de grenetina se hinchan de 5 a 10 veces su masa. Sin embargo, a 60 °C se solubiliza por completo. Por lo tanto, la temperatura es directamente proporcional a la temperatura (Myhrvold, Young y Bilet, 2011).

Viscosidad

En caliente la viscosidad de la grenetina es baja, pero ésta se incrementa vertiginosamente a medida que la temperatura disminuye y se acerca a la gelificación. Al 15 % se generan soluciones que van de 30 a 70 cps, siendo al 25 % de concentración de 30 a 50 cps (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002).

Si el pH de la solución es de 3, la viscosidad del gel disminuye (DEIA, 2013).

Interacción con otros aditivos

La presencia en bajas concentraciones de sales como fosfatos, sulfatos y citratos, mejora la solubilidad de la gretina en solución. A altas concentraciones la gretina puede precipitar. También puede precipitar en presencia de aldehídos, sulfato de amonio, ácido tánico y complejos orgánicos (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002).

Hay sinergismo con goma de algarrobo, guar, Konjac y xantana, aumentando el poder de gelificación, mientras que la CMC aumenta la viscosidad del sistema (Myhrvold, Young y Bilet, 2011).

Celulosa microcristalina (MCC o AVICEL) (E-460)

Es una forma de celulosa parcialmente despolimerizada no fibrosa y con alta capacidad de retención de agua, que se obtiene por hidrólisis ácida (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002). Al igual que la celulosa, la MCC no es digerible. Se presenta en forma de polvo microcristalino de color blanco, inodoro y sin sabor. Tiene la propiedad de formar soluciones coloidales tixotrópicas (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002).

La MCC es una molécula neutra compuesta por unidades de D-glucosa (Dura, 1986).

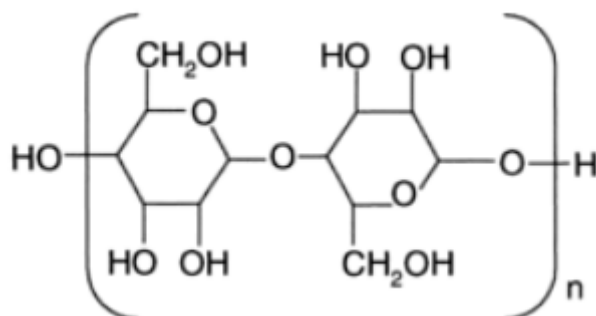


Figura 58. Estructura molecular de la MCC (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002)

Debido a su capacidad de formar una red tridimensional al estar en dispersión, sus propiedades funcionales abarcan microencapsulación, como antiapelmazante, estabilizante de espumas y emulsiones, como espesante, enturbiante y gelificante. Los coloides y geles obtenidos son opacos (FMC, 2013).

Su uso mejora en gran medida la sensación que provocan los alimentos en la boca y el paladar, debido a su sabor y aroma neutro (Myhrvold, Young y Bilet, 2011).

Propiedades Fisicoquímicas

Solubilidad

Es parcialmente insoluble en agua, disolventes orgánicos, ácidos diluidos y medios oleosos (FMC, 2013).

Tabla 32. Solubilidad de la celulosa microcristalina frente a distintos disolventes

Disolvente	Solubilidad
Agua	Parcialmente insoluble
Leche	Parcialmente insoluble
Soluciones Salinas	Parcialmente insoluble
Soluciones Azucaradas	Parcialmente insoluble
Etanol	Parcialmente insoluble

Viscosidad

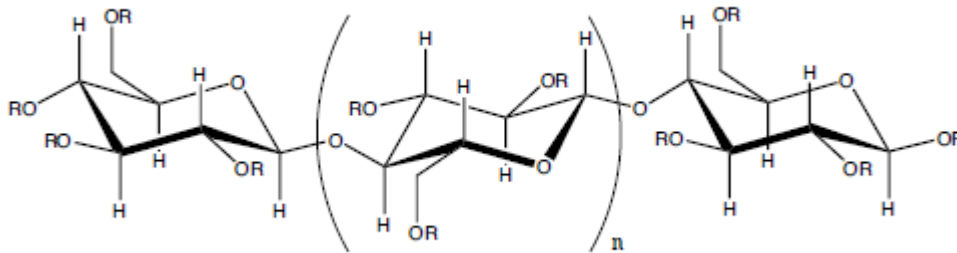
Los cambios de temperatura y acidez no tienen efecto sobre la viscosidad de las soluciones de goma xantana (FMC, 2013).

Interacción con otros aditivos

Se usa junto con CMC, lo cual mejora la dispersión de la microcelulosa en el medio. La adición de goma xantana puede proteger a la MCC (FMC, 2013).

Metilcelulosa (E-461)

Éter metílico de celulosa extraído a partir de algodón o madera. Se obtiene por reacción entre la celulosa alcalina con cloruro de metileno (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002).



*Figura 59. Estructura molecular de la metilcelulosa
(Cuisineinnovation, 2013)*

Forma espumas y estabiliza emulsiones cuando la temperatura del medio es baja, mientras que con alta temperatura (>60 °C) y en presencia de sales, forma geles. La cantidad normalmente utilizada varía desde 0.5 a 1.0 g por cada 100 g de la preparación final (Cuisineinnovation, 2013).

La metilcelulosa es poco sensible al pH y permite trabajar con pH que varía de 2 a 13 (Cuisineinnovation, 2013).

Propiedades Físicoquímicas

Solubilidad

El grado de sustitución de la metilcelulosa influye en la solubilidad del mismo. Si es menor a 1.6, es soluble en soluciones básicas. Si está entre 1.60 y 2.03, la solubilidad en disolución acuosa es máxima. Por el contrario, al rebasar 2.03 es soluble en disolventes orgánicos (FMC, 2013).

La metilcelulosa es soluble en medio acuoso frío. A medida que la temperatura de la disolución se incrementa, disminuye su solubilidad (Cuisineinnovation, 2013).

Tabla 33. Solubilidad de la metilcelulosa frente a distintos disolventes

Disolvente	Solubilidad
Agua	En frío
Leche	En frío
Soluciones Salinas	En frío
Soluciones Azucaradas	En frío
Etanol	En frío

Viscosidad

La MC tiene un alto espectro de viscosidad, formando soluciones al 2 % de concentración desde 18 hasta 14,000 cps (Dow Chemical Company, 2013). La viscosidad es inversamente proporcional al aumento de temperatura, pero a cierta temperatura se obtiene un gel reversible (Dura, 1986).

Interacción con otros aditivos

La sal reduce la temperatura de gelificación, mientras que el etanol la aumenta (Cuisineinnovation, 2013).

Usando metilcelulosa con CMC y HPMC, se logra disminuir la viscosidad del sistema (Dura, 1986).

Hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC) (E-464)

Se elabora por tratamiento alcalino de la celulosa con óxido de propileno en condiciones de alta presión y temperatura (Dura, 1986).

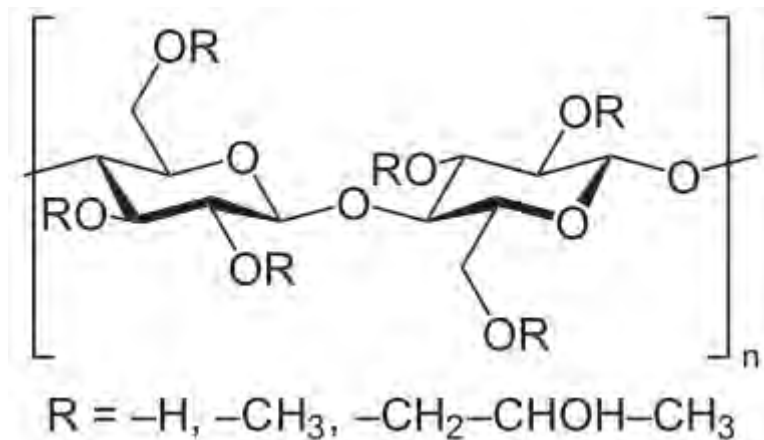


Figura 60. Estructura molecular de la HPMC (Barclay-Nichols, 2011)

Es usada como espesante y emulsificante (Dura, 1986). Cabe aclarar que no tiene capacidad de gelificar, aunque pueda colaborar en la formación de geles si hay presencia de cationes trivalentes (Igoe, 1982; Branen, 1990).

Propiedades Fisicoquímicas

Solubilidad

Es soluble en medio acuoso por debajo de 40 °C, pero insoluble arriba de esta temperatura. Es soluble en disolventes orgánicos y tiene capacidad de tolerar alta concentración de sales (Igoe, 1982; Dura, 1986).

Tabla 34. Solubilidad de la hidroxipropilmetilcelulosa frente a distintos disolventes

Disolvente	Solubilidad
Agua	Soluble debajo de 40 °C
Leche	Soluble
Soluciones Salinas	Soluble
Soluciones Azucaradas	Soluble debajo de 40 °C
Etanol	Soluble

Viscosidad

Las soluciones de hidroxipropilmetilcelulosa son no-newtonianas, exhibiendo un comportamiento pseudoplástico, específicamente, tixotrópico, llegando a formar viscosidades de hasta 140,000 cps (a 4 % de concentración) (Dow Chemical Company, 2013). Su viscosidad disminuye conforme aumenta la temperatura (Quingdao Great Chemical, 2013).

Interacción con otros aditivos

Con metilcelulosa, CMC, celulosa microcristalina y goma guar se abate la viscosidad de la disolución de HPMC (Igoe, 1982; Branen, 1990). Si se adiciona a la solución alginato de sodio, la viscosidad aumenta (debido al alto peso molecular del último) (FMC, 2013).

Carboximetilcelulosa (CMC) (E-466)

También conocida como goma de celulosa, es un polímero aniónico soluble en disolución acuosa (DEIA, 2013). Se prepara por adición de cloroacetato de sodio a la celulosa en medio alcalino (Acofarma, 2013). Razón por la cual, se encuentra comercialmente como carboximetilcelulosa de sodio.

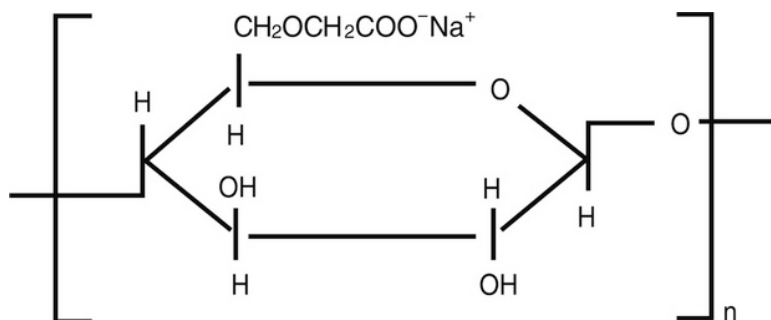


Figura 61. Estructura molecular de la CMC de sodio (DEIA, 2013)

En disolución acuosa, la CMC crea geles aniónicos de buena consistencia pero sin una gran transparencia y de color pardo acaramelado los cuales, son estables desde pH 4 hasta pH 10 (Acofarma, 2013).

Al ser un polielectrolito de alto peso molecular, es usado como estabilizante, espesante, protector coloidal y para la formación de películas (DEIA, 2013). Es empleado de igual manera como emulsificante en disoluciones de aceite en agua (O/W), aunque es menos efectiva que la metilcelulosa (Acofarma, 2013).

Propiedades Fisicoquímicas

Solubilidad

El polímero aniónico es soluble en agua fría. El pH y los iones divalentes aumentan la solubilidad (Acofarma, 2013).

La adición de la CMC en medio ácido debe de hacerse siguiendo un orden de lo contrario, el sistema será inestable. Por ello, debe de disolverse la goma en la solución para después acidificar el medio (DEIA, 2013).

Tabla 35. Solubilidad de la carboximetilcelulosa frente a distintos disolventes

Disolvente	Solubilidad
Agua	Soluble en frío y en caliente
Leche	Insoluble
Soluciones Salinas	Insoluble en alta concentraciones
Soluciones Azucaradas	Soluble en frío y en caliente
Etanol	Soluble hasta en un 15-20 % de concentración

Viscosidad

La CMC presenta en disolución un comportamiento pseudoplástico no-newtoniano, y dependiendo del grado de sustitución que presente, proporcionara distinto grado

de viscosidad. Su valor máximo se alcanza en un rango de pH entre 7 a 9. Si el pH se encuentra por debajo de 3, entonces la CMC precipita, lo que aumenta significativamente la viscosidad de la solución (Feddersen y Thorp, 1993).

El aumento de temperatura provoca una pérdida de viscosidad (Acofarma, 2013).

Interacción con otros aditivos

La CMC puede usarse en presencia de almidones, gelatinas, alginatos, harinas vegetales, ésteres celulósicos y gomas (DEIA, 2013).

Soportan la presencia de electrolitos, aunque los cationes trivalentes provocan su precipitación (Acofarma, 2013).

El azúcar modifica el comportamiento de las soluciones de CMC, aumentando su viscosidad (Feddersen y Thorp 1993).

Presenta sinergismo con goma de algarrobo, guar e hidroxipropilcelulosa, aumentando con ellos la viscosidad (Keller, 1983; Feddersen y Thorp 1993). Efecto contrario ocurre con metilcelulosa o HPMC (Igoe, 1982).

Conclusiones

1. La Gastronomía Molecular tiene como premisa principal lograr una fusión entre el vasto conocimiento científico y tecnológico que actualmente se tiene sobre los alimentos, con las habilidades culinarias que derivan del mundo gastronómico, y que hacen del comer, una experiencia única e incomparable, sin dejar de lado un aspecto tan importante y crítico como lo es la inocuidad alimentaria.

Esto ha hecho que seguir al pie de la letra una receta, los insumos y herramientas comunes de la cocina tradicional, resulten insuficientes, pues ahora es necesario tomar en cuenta parámetros críticos como la temperatura, el pH, la presencia o ausencia de ciertos iones, la solubilidad, etc. Ahora se precisa poseer un amplio y adecuado conocimiento de cada técnica, herramienta, ingrediente, aditivo que sea empleado, teniendo conciencia sobre ambas partes: la científica y la culinaria.

2. Las técnicas adoptadas (crio-congelación, esferificación, liofilización, destilación al vacío, cocción al vacío y a bajas temperaturas, etc.), utilizan los mismos principios que sus equivalentes industriales, con la diferencia de que más que pretender aumentar la vida de anaquel, ahora se busca elaborar nuevos productos, diferentes formas o presentaciones de platillos conocidos, llegando incluso a superar las típicas fronteras de frío-caliente, líquido-sólido o salado-dulce. En el punto en que ambos enfoques coinciden, es la conservación de las propiedades nutrimentales y un mínimo impacto sensorial que mantenga las bondades del alimento.

3. Dentro de los aditivos que se usan en la cocina modernista, los hidrocoloides son los que mayor protagonismo alcanzan (sobre todo los alginatos y la goma xantana), pues a partir de ellos, es posible desarrollar una amplia variedad de sistemas coloidales (con distinto flavor), además de las claras ventajas (alta efectividad, mínima interferencia de sabor) que presentan en comparación con los ingredientes clásicos de la cocina. Sin embargo, estos coloides alimentarios (emulsiones, espumas, geles, bebidas y alimentos líquidos espesados) son sistemas termodinámicamente inestables y requieren la aplicación de diversos estabilizantes (cofactores, tensoactivos u otros hidrocoloides en sinergia). En consecuencia, la

realización de estos platillos resulta complicada y no siempre se alcanzan los resultados deseados.

4. Hoy en día, la Gastronomía Molecular debe lidiar con ciertos inconvenientes, más allá del desafío científico, tecnológico y culinario que implican sus creaciones, como lo es la mala fama de la prensa, el escepticismo de incorporar “químicos” a los platillos y la inversión financiera que requiere su aplicación. No obstante, esta rama de la ciencia es prometedora y está cambiando por completo la forma en que normalmente comemos, ya que estas creaciones nos invitan a la reflexión intelectual, dada su intrigante naturaleza.

Bibliografía

1. Acofarma, 2013. *Carboximetilcelulosa sódica. Información Técnica*. [En línea] (Actualizado al 22 de julio de 2013).

Disponible en:

http://www.acofarma.com/admin/uploads/download/4202-d2fa20f6ffb1f7c5e800e786e4720c4ce163fe5f/main/files/Carboximetilcelulosa_sodica.pdf [Último acceso el 29 de noviembre de 2013].

2. Adrià, F., 2008. *Demonstrates Alginates*. [En línea] (Actualizado al 16 de octubre de 2013).

Disponible en:

<http://www.youtube.com/watch?v=gKWgmx0kc1A> [Último acceso el 16 de octubre de 2013].

3. Adrià, A. y Adrià, F., 2013. *Texturas. Lyo-Sabobes, Ingenios y Suggestions*. [En línea] (Actualizado al 15 de abril de 2013).

Disponible en:

<http://www.albertyferranadria.com/> [Último acceso el 05 de diciembre de 2013].

4. Aranberri I., Binks B., Clint J. y Fletcher P., 2006. Elaboración y caracterización de emulsiones estabilizadas por polímeros y agentes tensoactivos. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 7 (3), pp. 211-231.

5. Armisen, R. y Galatas, F., 1987. *Production, properties and uses of agar, Production and Utilization of Products from Commercial Seaweeds*. Roma: Food and Agriculture Organization, United Nations, p. 1.

6. Badui, D., 2006. *Química de Alimentos*. 4^o edición. México: Pearson.

7. Barclay-Nichols (Pont of Interest!), 2011. *Thickeners: Hydroxypropyl methyl cellulose (HPMC)*. [En línea] (Actualizado al 03 de febrero de 2011).

Disponible en:

<http://swiftcraftymonkey.blogspot.mx/2011/02/thickeners-hydroxypropyl-methyl.html> [Último acceso el 30 de diciembre de 2013].

8. BeMiller, J. y Whistler, R., 1993. *Industrial Gums Polysaccharides and Their Derivates*. 3° edición. San Diego: Academic Press.
9. Belitz, H.-D., Grosch, W. y Schieberle, P., 2009. *Food Chemistry*. 4° edición. Berlín: Springer.
10. Branen, A. y Davidson, P., 1990. *Food Additives*. Chicago: Marcel Dekker.
11. Bristhar Laboratorios, 2013. *Goma tragacanto*. [En línea] (Actualizado al 23 de septiembre de 2013).

Disponible en:

<http://www.bristhar.com.ve/tragacanto.html> [Último acceso el 28 de diciembre de 2013].

12. Calixto, F., 1982. Components of Nutritional Interest in Carob Pods (*Ceratonia siligioa*). *Journal of Science Food Agriculture*, 33 (12), pp. 1319-1323.
13. Carranza, J., 2000. *Compendio de Hidrocoloides: Fundamentos y Aplicaciones en la Industria Alimentaria*. Trabajo Monográfico de Actualización. México: Facultad de Química, UNAM.
14. Cassar, M., 2013. *Molecular Gastronomy: Is there a market for such a culinary art in Malta?* La Valeta: Institution of Tourism Studies.
15. Castells, P., 2008. La esferificación. *Investigación y Ciencia*, 139.
16. Castells, P., 2010. Cocina al vacío. *Investigación y Ciencia*, 402.
17. Castells, P., 2011. La destilación llega a la cocina. *Investigación y Ciencia*, 417.
18. Chaplin, M. (Water Structure and Science), 2012. *Gelatin* [En línea] (Actualizado al 25 de noviembre de 2012).

Disponible en:

<http://www1.lsbu.ac.uk/water/hygel.html> [Último acceso el 29 de noviembre de 2013].

19. Charalambous, G. y Doxastakis, G., 1989. *Food Emulsifiers, Chemistry & Technology, Functional Properties and Applications*. Amsterdam: Elsevier.
20. CHEMMUNIQUE, 1980. *The HLB system, a time guide to emulsifier selection*. Wilmington: ICI Americas.
21. Cocinista, 2013. *Recetas y trucos de cocina molecular*. [En línea] (Actualizado al 07 de diciembre de 2013).

Disponible en:

<http://www.cocinista.es/web/es/recetas/cocina-molecular> [Último acceso el 07 de diciembre de 2013]

22. Coultate, T., 1990. *Alimentos: Química de sus Componentes*. Zaragoza: Acribia.
23. Cousins J., O’Gorman, K. y Stierand, M., 2010. Molecular gastronomy: cuisine innovation or modern day alchemy? *Emerald*, 22 (3), pp. 399-415.
24. CPKelco, 2004. *Goma Gellan para aplicaciones farmacéuticas*. [En línea] (Actualizado al 15 de julio de 2013).

Disponible en:

<http://www.cpkelco.com/products-gellan-gum.html> [Último acceso el 28 de diciembre de 2013].

25. Cubero, N., Monferrer, A. y Villalta, J., 2002. *Aditivos Alimentarios*. Madrid: Mundi-Prensa Libros.
26. Cuisineinnovation, 2013. *Science et technologie au service de la création culinaire*. [En línea] (Actualizado al 01 de octubre de 2013).

Disponible en:

<http://www.cuisine-innovation.com/fr/> [Último acceso el 01 de octubre de 2013].

27. Cyber Colloids, 2013. *Information (Technical articles, legal specifications, hydrocolloid manufacturers and recipes)*. [En línea] (Actualizado al 27 de diciembre de 2013).

Disponible en:

<http://www.cybercolloids.net/information> [Último acceso el 27 de diciembre de 2013].

28. Deuel, H. y Neukom, H., 1954. *Some properties of locust bean gum. In Natural Plant Hydrocolloids*. Washington D.C.: American Chemical Society, pp. 51-61.
29. Diccionario de Especialidades para la Industria Alimentaria, 2013. *Materias Primas*. [En línea] (Actualizado al 30 de noviembre de 2013).

Disponible en:

<http://www.especialidadalimentaria.com/materias-primas#inicio> [Último acceso el 30 de noviembre de 2013].

30. Dow Chemical Company, 2013. *Products (Nutrition)*. [En línea] (Actualizado al 08 de diciembre de 2013).

Disponible en: <http://www.dow.com/products/market/nutrition/> [Último acceso el 08 de diciembre de 2013].

31. Dura, P., 1986. *El uso de derivados de Celulosa como aditivos en la industria Alimentaria*. Tesis de Licenciatura. México: Facultad de Química, UNAM.
32. Dziezak J., 1991. A focus on gums. *Food Technology*, 45(3), pp. 116-130.
33. El aderezo (blog de cocina), 2009. *Espuma de piñón*. [En línea] (Actualizado al 28 de mayo de 2009).

Disponible en:

<http://eladerezo.hola.com/recetario/espuma-de-pinon> [Último acceso el 18 de enero de 2014].

34. Feddersen, J. y Thorp, S., 1993. Sodium Carboxymethylcellulose. En: J. BeMiller y R. Whistler eds. *Industrial Gums Polysaccharides and Their Derivates*. 3° edición. San Diego: Academic Press.
35. Fennema, O., 1993. *Química de los Alimentos*. Zaragoza: Acribia.

36. FMC BioPolymer, 2013. *Ingredients*. [En línea] (Actualizado al 28 de octubre de 2013).

Disponible en:

<http://www.fmcbiopolymer.com/Food/Ingredients.aspx> [Último acceso el 28 de octubre de 2013].

37. Furia, T., 1981. *Handbook of Food Additives*. 2° edición. Cleveland: Academic Press.

38. García, D., 2004. Criococina. En: D. García ed. *Técnicas y contrastes*. Barcelona: Montagud.

39. García, O., 1987. La Goma Karaya y su uso en Alimentos. *Industria Alimentaria*, 9 (5), p. 3.

40. Gastronomía & Cía, 2013. *Diccionario de cocina*. [En línea] (Actualizado al 28 de octubre de 2013).

Disponible en:

<http://www.gastronomiaycia.com/category/diccionario-de-cocina/> [Último acceso el 28 de octubre de 2013].

41. Gimferrer, M., 2008. *Transglutaminasa, el adhesivo de los alimentos*. [En línea] (Actualizado al 01 de octubre de 2008).

Disponible en:

<http://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/ciencia-y-tecnologia/2008/10/01/180389.php> [Último acceso el 02 de enero de 2014].

42. Glicksman, M., 1982. *Food Hydrocolloids*. Vol. I. Boca Raton: CRC Press.

43. Glicksman, M., 1983. *Food Hydrocolloids*. Vol. II. Boca Raton: CRC Press.

44. Glicksman, M., 1986. *Food Hydrocolloids*. Vol. III. Boca Raton: CRC Press.

45. Glicksman, M., 1969. *Gum Technology in the Food Industry*. Nueva York y Londres: Academic Press.

46. Gremount Internacional, 2013. *Thickner* [En línea] (Actualizado al 02 de noviembre de 2013).

Disponible en:

<http://www.gremount.com.cn> [Último acceso el 02 de noviembre de 2013].

47. Griffin, W., 1949. *Classification of Surface active agents by "HLB"*. Journal of the Society of Cosmetic Chemists, 1, pp. 311.
48. Guiseley, K., 1970. The relationship between methoxyl content and gelling temperature of agarose. *Carbohydrates Research*, 13 (2), pp. 247–256.
49. Guiseley, K., 1972. Viscometric determination of agarose gelling temperature. En: K. Nisizawa *Proceedings of the Seventh International Seaweed Symposium*. Nueva York: Halsted Press, p. 455.
50. Herald, C., 1983. Guar Gum. En: M. Glicksman ed. *Food Hydrocolloids*. Vol. 3. Boca Raton: CRC Press.
51. Hernández, L., 2009. *Estudio de la estabilidad y evolución de emulsiones del tipo O/W mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC) y dispersión dinámica de la luz* (Tesis). México: ESIIIE, IPN, pp. 1-2.
52. Hennock, M., 1984. Effect of Xanthan Gum upon the Rheology and Stability of Oil-Water Emulsions. *Journal of Food Science*, 49 (5), pp. 1271-1274.
53. Hirst, E. y Dunstan, S., 1953. The Structure of karaya gum (*Cochlospermum gossypium*). *Journal of the Chemical Society*, 476, pp. 2332.
54. Igoe, R., 1982. Hydrocolloid Interactions Useful in Food Systems, *Food Technology*, 36 (4).
55. Jungbunzlauer, 2008. *Xanthan Gum*. [En línea] (Actualizado al 01 de diciembre de 2013).

Disponible en:

<http://www.jungbunzlauer.com/products-applications/products/xanthan-gum/xanthan-gum/general-information.html> [Último acceso el 01 de diciembre de 2013].

56. Kang, K. y Pettitt, D., 1993. Xanthan, Gellan, Welan and Rhamsan. En: R. Whistler y J. BeMiller eds. *Industrial Gums Polysaccharides and Their Derivates*. 3° edición. San Diego: Academic Press.

57. Keller, J., 1983. Sodium Carboxymethylcellulose. En: M. Glicksman ed. *Food Hydrocolloids*. Vol. III. Boca Raton: CRC Press.
58. Kojima, Y., Tagawa, S. y Yamada, Y., 1960. Studies on the new method of preparation of agar from *Ahnfeltia plicata*. On the properties of Itgani agar. *The Journal of the Shimonoseki College of Fisheries*, 10 (43), pp. 43.
59. Kremzner, L. y Mitchell, W. (General Foods), 1961. *Patent US 3,012,393: Gasified confection and method of making the same*. Washington, D.C.: United States Patent and Trademark Office.
60. Larsson, K., 1990. *Food Emulsions*. 2° edición. Nueva York y Basel: Marcel Dekker.
61. Leung, AY., 1980. *Encyclopedia of Common Natural Ingredients Used In Food, Drugs and Cosmetics*. Hoboken: John Wiley & Sons.
62. Lopes da Silva, J. y Rao, M., 2006. Pectins: Structure, Functionality, and Uses. En: A. Stephen, G. Phillips y P. Williams eds. *Food Polysaccharides and Their Applications*. 2° edición. Boca Raton: Taylor & Francis.
63. Maier, H. y Anderson, M., 1993. Guar, Locus Bean, Tara and Fenugreek Gums. En: J. BeMiller y R. Whistler eds. *Industrial Gums Polysaccharides and Their Derivates*. 3° edición. San Diego: Academic Press.
64. Mans, C., 2010. *Sferificaciones y macarrones*. Barcelona: Ariel.
65. Mans, C. y Castells, P., 2011. La nueva cocina científica. *Investigación y Ciencia*, 421, pp. 56-63.
66. Matsushashi, T., 1990. Agar. En: P. Harris ed. *Food Gels*. Londres: Elsevier Applied Science Publisher, p. 1.
67. McCormick, C. y Prokes, S., 2009. Molecular Gastronomy: Materials Science in the Kitchen, *Mrs Bulletin*, 34, pp. 802, 803.
68. McGee, H., 2004. *On Food and Cooking: The Science and Lore of the Kitchen*. 2° Edición. Londres: Hodder & Stoughton.
69. McGee, H.; fotografías por Sapiña F. y Tamayo E., 2010. *Modern Gastronomy A to Z a Scientific and Gastronomic Lexicon*. Boca Raton: Alicia Foundation, elBullitaller y CRC Press.

70. Meer, G., Meer, W. y Tinker, J., 1975. Water Soluble Gums Their past, present and future. *Food Technologies*, Vol. 29 (22).
71. Mendoza, E. y Calvo, C., 2010. *Bromatología. Composición y propiedades de los alimentos*. México: McGraw-Hill.
72. Mohamadnia, Z., Zohuriaan-Mehr, M., Kabiri, K. y Razavi-Nouri, M., 2008. Gum-graft-polyacrylonitrile: synthesis, characterization and hydrolysis. *Journal of Polymer Research*, 15 (3), pp. 173-180.
73. Molecularrecipes.com, 2013. *Spherification*. [En línea] (Actualizado al 15 de octubre de 2013).
- Disponible en:
- <http://www.molecularrecipes.com/spherification/> [Último acceso el 15 de octubre de 2013].
74. Morris, C., 1986. Gums, Starches gel. New Product Ideas. *Food Engineering*, 58 (8), pp. 110-113.
75. Morris, E., 1990. Mixed Polymer Gels En: P. Harris ed. *Food Gels*. Londres: Elsevier Applied Science Publisher.
76. Multon, J., 2000. *Aditivos y auxiliares de fabricación en las industrias agroalimentarias*. 2° Edición, Madrid: Acribia.
77. Myhrvold, N., Young, C. y Bilet, M.; Fotografías por Smith, R., Myhrvold, N., Marumoto y Douglas, G., 2011. *Modernist Cuisine: The Art and Science of Cooking. Volume 2: Techniques and Equipment y Volume 4: Ingredients and Preparations*. Bellevue: The Cooking Lab.
78. Nakahama N., 1966. Rheological studies of the agar-agar gel. *Journal Home Economics*, 17 (197), p. 17.
79. Nakahama N., Maeda F. y Kujira S., 1967. Rheological studies on the egg-white gel. The effects of sugar, sorbitol and glycerin on the gel. *Journal Home Economics*, 18 (365), p. 365.
80. Nussinovitch, A., Kopelman, I. y Mizrahi, S., 1991. Modelling the combined effect of fruit pulp, sugar and gum on some mechanical properties of agar and alginate gels. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, 24 (513).

81. Paste, 2013. *10 Easy Molecular Gastronomy Recipes*. [En línea] (Actualizado al 18 de junio de 2013).

Disponible en:

<http://www.pastemagazine.com/blogs/lists/2013/06/10-easy-molecular-gastronomy-recipes.html> [Último acceso el 29 de octubre de 2013].

82. Pérez, E. y García, R., 2010. *Sistemas Heterogéneos: Reología*. Caracas: Universidad Central de Venezuela.

83. Picardo, A. y Alvarez, M., 2008. *Química I: Introducción de la materia*. San José: EUNED.

84. Picullel, L., 2006. Gelling Carrageenans. En: A. Stephen, G. Phillips y P. Williams eds. *Food Polysaccharides and Their Applications*. 2° edición. Boca Raton: Taylor & Francis.

85. Picullel, L. y Nillson, S., 1989. Anion-specific salt effects in aqueous agarose solutions. Effects on the coil–helix transition and gelation of agarose. *The Journal of Physical Chemistry*, 114 (4), pp. 93.

86. Pop Rocks Candy, 2008. *Pop Rocks Candy History* [Acceso en línea] (Actualizado al 30 de septiembre de 2012).

Disponible en:

<http://www.poprockscandy.com/> [Último acceso el 28 de octubre de 2013].

87. Potter, J., 2010. *Cooking for Geeks. Real Science, Great Hacks, and Good Food*. Sebastopol: O'Reilly.

88. Prochef, 2013. *¿Qué es la transglutaminasa? y sus usos en la industria alimentaria*. [Acceso en línea] (Actualizado al 30 de diciembre de 2013).

Disponible en: <http://www.profichef.com/info-food/carnes-y-proteinas/que-es-la-transglutaminasa/> [Último acceso 30 de diciembre de 2013].

89. Quingdao Great Chemical, 2013. *Products*. [En línea] (Actualizado al 30 de diciembre de 2013).

Disponible en:

<http://www.greatchem.com/products/index.htm> [Último acceso el 30 de diciembre de 2013].

90. Ravnborg U., Schiødt J. y Kihler J. (Lundbeck), 2002. *Stereospecifik reduktion af ethyl acetoacetate*. [En línea] (Actualizado al 02 de abril de 2006).

Disponible en:

<http://www.helsinge-gym.dk/UR/Acetoacetat.htm> [Último acceso el 01 de noviembre de 2013].

91. Rees, D., 1972. Mechanism of gelation in polysaccharide systems. In *Gelation and gelling agents, Symposium Proceedings. British Food Manufacturing Industries Research Association*, 13, pp. 7-12.
92. Repetto, M. y Repetto, G., 2009. *Toxicología Fundamental*. 4° edición. Madrid: Díaz de Santos.
93. Rodríguez, J., 2008. *Sistemas Coloidales en Farmacia*. Salamanca: Universidad de Salamanca, pp. 13-20.
94. Roeper, 2006. *Gum Arabic / Gum Acacia*. [En línea] (Actualizado al 02 de noviembre de 2013).

Disponible en:

<http://www.roeper.de/en/produktdetail.html?nummer=15> [Último acceso el 02 de noviembre de 2013].

95. Rosestein, E., 1997. *Diccionario de Especialidades para la Industria Alimentaria*. 7° edición. México: Ediciones PLM.
96. Sanchez, L., 2009. *El pH y sus efectos*. México: UAM.
97. Schmidt, S., Bohn, D., Rasmussen, A. y Sutherland, E., 2012. Using Food Science Demonstrations to Engage Students of All Ages in Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM). *Journal of Food Science Education*, 11 (2), pp. 20-22.
98. Sharma, B., Narres, L. y Dhuldhoya, N., 2006. Xanthan Gum. A Boon to Food Industry. *Food Promotion Chronicle*, 1(5), pp. 27-30.

99. Sime W., 1990. Alginates, Food Gels, En: P. Harris ed. *Food Gels*. Londres: Elsevier Applied Science Publisher, pp. 53-78.
100. Solís, I., 2007. *Estudio Comparativo de las Propiedades Finales de Extractos de Carragenina κ -I / κ -II Utilizando Distintas Algas Productoras de Carragenina κ -II*. Chile: Universidad Austral de Chile.
101. Sosa Ingredients, 2013. *Gastronomía Moderna*. [En línea] (Actualizado al 20 de noviembre de 2013).
- Disponible en:
- <http://sosa.cat> [Último acceso el 20 de noviembre de 2013].
102. Stephen, A., Phillips G. y Williams P., 2006. *Food Polysaccharides and Their Applications*. 2° edición. Boca Raton: Taylor & Francis.
103. Tadros, T., 2013. *Encyclopedia of Colloid and Interface Science*. Berlín: Springer Berlin Heidelberg.
104. Therkelsen, G., 1993. Carragenan. En: J. BeMiller y R. Whistler eds. *Industrial Gums Polysaccharides and Their Derivates*. 3° edición. San Diego: Academic Press.
105. This, H., 2002. Molecular Gastronomy. Exploring the Science of Flavor. *Angewandte Chemie International Edition*, 41 (1), pp. 83-88.
106. This, H., 2006a. Food for tomorrow? How the scientific discipline of molecular gastronomy could change the way we eat. *EMBO reports*, 7 (11), pp. 1062-1066.
107. This, H., 2006b. Pourquoi la cuisine n'est pas une science? *Sciences des Aliments*, 26, pp. 201-206.
108. This, H., 2009. Molecular Gastronomy, a Scientific Look at Cooking. *Accounts of Chemical Research. American Chemical Society*, 42 (5), pp. 575-583.
109. Torres, J., 1997. Hidrocoloides Estabilizantes: elementos de cohesión. *Tecnología de Alimentos, Industria y Mercado*, 32 (6).
110. TPE (Travaux Personnels Encadrés), 2013. *Cuisine et Gastronomie Moléculaire*. [En línea] (Actualizado al 03 de diciembre de 2013).

Disponible en:

<http://tpegastrmole.webatu.com/#> [Último acceso el 03 de diciembre de 2013].

111. Valverde, J., 2011. Molecular gastronomy. *Research and innovation news at Teagasc*, 6 (2), pp. 16, 17.
112. Vega, C. y Ubbink, J., 2008. Molecular gastronomy: a food fad or science supporting innovative cuisine? *Elsevier*, 19 (7), pp. 372-382.
113. Watase, M., Kohyama, K. y Nishinari, K., 1992. *Effects of sugars and polyols on the gel-sol transition of agarose by differential scanning calorimetry*. Tokio: Thermochemica Acta, p. 163.
114. Whytock, S. y Finch, J., 1991. The substructure of agarose gels as prepared for electrophoresis, *Biopolymers*, 31 (9), pp. 1025-1028.
115. Winston, P. (Kelco Co.), 1992. *Patent US 5112455: Gellan Gum Multifunctional Polysaccharide for gelling and Texturizing*. Washington, D.C.: United States Patent and Trademark Office.
116. Yek, G. y Strume, K., 2008. Deconstructing Molecular Gastronomy. *Food Technology*, 6 (8), pp. 35-43.
117. Zahra, M. et al., 2008. Tragacanth gum-graft-polyacrylonitrile: synthesis, characterization and hydrolysis. *Journal of Polymer Research*, 15 (3), pp 173-180.

Anexo

Condiciones de trabajo de los hidrocoloides

Hidrocoloide	T de hidratación (°C)	T de gelificación (°C)	T de fusión (°C)	pH estable
Agar	95	35-45	85	2.5-10
Alginato de propilenglicol	En frío y cal.	/	/	3-10
Alginato de sodio	En frío y cal.	Cualquiera	/	4-10
Carboximetilcelulosa	En frío y cal.	/	/	5-9
Carragenina ι	>70	40-70	50-80	4-10
Carragenina κ	>70	30-60	40-75	4-10
Carragenina λ	En frío	/	/	4-10
Celulosa microcristalina	En frío	/	/	4-10
Goma arábica	En frío y cal.	/	/	3-9
Goma de algarrobo	>90	/	/	4-10
Goma gellana alto acilo	>85	70-80	71-75	3-10
Goma gellana bajo acilo	75-95	10-50	80-140	3-10
Goma guar	En frío y cal.	/	/	4-10
Goma Konjac	En frío	≥80	/	3-10
Goma tragacanto	En frío y cal.	/	/	2-7
Goma xantana	En frío y cal.	/	/	1-13
Grenetina	60	4-35	37	5-9
Hidroxipropilmetilcelulosa	En frío	25-90	35-50	3-10
Metilcelulosa	En frío	50-90	15-50	2-13
Pectina de alto metoxilo	85	70-80	70-85	2-7
Pectina de bajo metoxilo	40-85	40-85	70-85	2-7

ADAPTACIÓN DE LA TABLA HYDROCOLLOID PROPERTIES AND USES, DEL LIBRO MODERNIST CUISINE, VOLUME 4 · INGREDIENTS AND PREPARATIONS, 2011.

Infografía del procedimiento de esferificación básica, esferificación inversa y encapsulación (Mans y Castells, 2011)

