

# Pasado, presente y futuro de las levaduras

Por Dimas FERNANDEZ-GALIANO (\*)

## INTRODUCCION

Las levaduras, esos diminutos hongos microscópicos tan activos desde el punto de vista microbiológico, tienen hoy un papel fundamental en la tecnología de algunos alimentos y es de esperar que lo tengan aún mayor en el futuro. Es más, es posible que constituyan no tardando mucho tiempo una de las mayores reservas nutritivas para la humanidad. Al mismo tiempo, estos microorganismos han alcanzado un papel sumamente importante en el desarrollo de la ciencia actual, para no referirnos a su empírica utilización desde posiblemente la prehistoria, para la elaboración de alimentos tan preciados como el pan. Es ésta la razón de que queramos hoy señalar en este artículo las características de las levaduras que les confieren la excepcional importancia que tienen para los microbiólogos actuales.

## LAS LEVADURAS COMO ORGANISMOS

Las levaduras pertenecen a ese inmenso y un poco misterioso mundo de vegetales heterótrofos que son los hongos, pero dentro del mismo ocupan un puesto bastante singular. En efecto, para empezar, sus células están dispersas, y no dispuestas en los típicos filamentos fúngicos que conocemos con el nombre de hifas y que tan característicos son del resto de los hongos. Estas células dispersas, independientes unas de otras pero que generalmente forman unas poblaciones numerosísimas, se reproducen por gemación, es decir, por unas pequeñas yemas que nacen en la superficie de la célula, yemas que crecen hasta alcanzar un tamaño casi igual al de la célula madre y se emancipan luego convertidas en células hijas. Generalmente la levadura madre da una levadura hija cada vez y solamente cuando ésta ha quedado en libertad al romperse el delicado pedúnculo que las une, comienza la madre la formación de otra yema que dará una segunda célula hija, pudiendo repetirse este proceso varias veces en cada levadura, como lo demuestran las plurales cicatrices que se pueden apreciar en la pared celular de una célula adulta, testigos de otras tantas gemmaciones.

La segunda singularidad que queremos apuntar sobre las peculiaridades botánicas de las levaduras

es que su sencillez anatómica, que puede inducirnos falsamente a la creencia de que se trata de unos hongos primitivos, enmascara la realidad de una larga historia evolutiva, pues está fuera de toda duda que las levaduras son unos ascomicetos, es decir, unos hongos filogenéticamente muy elevados, próximos parientes del cornezuelo del centeno y de los penicilios productores de penicilina, y parientes también, aunque en un grado menos cercano, de los basidiomicetos comestibles o venenosos que conocemos con el nombre de setas. Ahora bien, estos hongos ascomicetos han experimentado después una regresión morfológica que les ha reducido a la condición de unicelulares, quedando apenas como testimonio de su elevado rango sistemático unas reducidas ascas en las que se desarrollan cuatro ascosporas y un proceso sexual también muy reducido, y esto ni siquiera en todas las levaduras.

Por supuesto que esta historia filogenética no nos es conocida en sus detalles y solamente podemos hacer ciertas suposiciones sobre ella gracias a la existencia de levaduras productoras de micelio (que las hay), a la producción de éste en condiciones experimentales en algunas levaduras, etc., pero desarrollar este camino nos llevaría más lejos de lo que se pretende en este escrito.

## LAS LEVADURAS COMO MICROORGANISMOS

Las levaduras cumplen también con todas las condiciones precisas para que se puedan considerar como microorganismos: su tamaño es pequeño, su actividad metabólica muy grande y, en consecuencia, ejercen una gran actividad bioquímica sobre los sustratos orgánicos sobre los que crecen y se desarrollan. Precisamente de esta última cualidad dimana la enorme importancia que han tenido y tienen, como he dicho anteriormente, en la tecnología de los alimentos, en su doble papel de elaboradoras de alimentos y de bebidas y de alimentos «per se» que ostentan.

(\*) Catedrático de Microbiología de la Facultad de Biología. Universidad Complutense de Madrid.

Dadas estas circunstancias, no nos debe extrañar que los microbiólogos las manejen con técnicas de laboratorio en todo similares a las empleadas con otros microorganismos (principalmente técnicas «bacteriológicas») y que en los programas de microbiología de cualquier tipo de estudios figuran temas dedicados a estos seres.

Pero, además, hay otras características de las levaduras que han recabado la atención de los microbiólogos.

En primer lugar, el hecho de que algunas levaduras son patógenas para el hombre, ya que se sabe que los microbiólogos muestran siempre una atención especial, muy justificada, hacia los patógenos. Entre estas levaduras destaca *Candida albicans* (conocida antiguamente con el nombre de *Monilia albicans*), agente de las moniliasis humanas, que son unas infecciones agudas o subagudas no demasiado graves pero muy aparatosas, en las que la levadura en cuestión invade las mucosas de la boca o de otras cavidades, recubriéndolas de un abundante micelio blanco (*Candida* es una levadura de las que forman micelio en ciertas condiciones).

En segundo término, la utilidad que han mostrado ciertas levaduras en los estudios de genética citoplasmática. En efecto, cruzando entre sí ciertos mutantes de la levadura *Saccharomyces cerevisiae* se ha podido demostrar que el responsable de ciertas características genéticas es el ADN contenido en las mitocondrias y no el ADN de los cromosomas, por lo que se hace patente la influencia del citoplasma en ciertos fenómenos hereditarios.

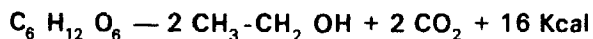
Por último, una cualidad adicional que les confiere un alto valor microbiológico es la capacidad de las levaduras de vivir en presencia de oxígeno (en aerobiosis) o en ausencia de este elemento (en anaerobiosis), cualidad que se descubrió primero en estos seres y que se define diciendo que se trata de organismos aerobios y anaerobios facultativos.

Pero, además, cuando estos microorganismos pasan de las condiciones aerobias a las condiciones anaerobias modifican su metabolismo utilizando en uno u otro caso diferentes sistemas enzimáticos para la degradación de los compuestos (principalmente azúcares) que constituyen su alimento.

Así, por ejemplo, cuando una levadura de las denominadas «de vino» vive en aerobiosis, con abundante provisión de oxígeno, utiliza la glucosa mediante un sistema enzimático respiratorio, es decir, obtiene el máximo rendimiento energético de la oxidación de dicho azúcar, oxidación que en este caso es total y que se lleva a cabo por una serie de reacciones que se pueden resumir en la ecuación sumaria siguiente:



En cambio, si esta misma levadura crece ahora en anaerobiosis usando el mismo azúcar como sustrato nutritivo, se sirve de un sistema enzimático fermentativo, que da origen a las reacciones que se resumen en la ecuación sumaria:



En esta reacción no solamente se obtiene por mol de glucosa una cantidad de calorías claramente inferior a la proporcionada por la respiración, sino que en su segundo miembro se halla un compuesto, el

alcohol etílico, que está todavía dotado de energía, frente a los productos exentos de energía (dióxido de carbono y agua) que en el caso anterior encontrábamos y que nos indicaban que el aprovechamiento de la glucosa era completo.

Hay que advertir que, naturalmente, como la cantidad de energía que se obtiene en la respiración es mayor que la que proporciona la fermentación alcohólica, el exceso de energía respiratoria lo emplea la levadura en crecer y desarrollarse, por lo que, a igualdad de otras condiciones (temperatura, tiempo, sustrato, etc.), la respiración es más «productiva» que la fermentación, fenómeno que fue ya observado por el padre de la Microbiología, el gran Louis Pasteur, por lo que se designa con el nombre de «efecto Pasteur».

## EL NACIMIENTO DE LA BIOQUIMICA

Los preciosos trabajos de Louis Pasteur en 1860 establecieron por primera vez el concepto de fermentación como un cambio químico que se producía por la acción de unas células denominadas «fermentos», que no eran otra cosa que levaduras. Estos descubrimientos significaron de algún modo el nacimiento de una fisiología microbiana pero no llevaban en sí mismos más que el germen de lo que había de ser esa ciencia que hoy luce esplendorosamente con el nombre de Bioquímica: el verdadero nacimiento de ésta se puede cifrar con gran exactitud en 1897, fecha en que los hermanos Hans y Eduard Büchner llevaron a cabo una observación accidental, pero de la que se extrajeron unas enormes consecuencias desde el punto de vista científico y aún desde el punto de vista de la Filosofía.

Los Büchner preparaban unos extractos de levaduras con fines medicinales, los cuales se descomponían con facilidad debido a contaminaciones bacterianas, por lo que ensayaron añadirles sustancias antisépticas conservantes, las cuales no debían ser tóxicas (como en fenol, que era a la sazón un antiséptico muy utilizado). Intentaron, pues, conservarlas a la manera de los zumos de frutas a los que se añade gran cantidad del azúcar ordinario de cocina (sacarosa) cuando se elaboran compotas o mermeladas. El inesperado resultado fue la rápida descomposición de la sacarosa en glucosa y fructosa por la acción del extracto de levadura. Los hermanos Büchner habían preparado lo que hoy se llama un extracto sin células, en el que había una enzima libre, la sacarosa, que actuaba «in vitro», es decir, en un ambiente no biológico. Una actividad tan vital como ésta, que según los estudios y teorías de Pasteur era uno de los atributos más genuinos de los seres vivos, podía ser llevado a cabo por un material químico, por un fermento del tipo de los que para distinguirlos de los «fermentos figurados», es decir, de las células íntegras habían de ser llamados desde entonces (hasta que pasaron a denominarse enzimas) «fermentos solubles». No consideraré aquí, aunque habría materia suficiente para ello, la trascendencia filosófica de este importante hecho científico.

## LAS LEVADURAS DE LAS BEBIDAS ALCOHOLICAS

Tradicionalmente, el empleo industrial de las levaduras se ha reducido prácticamente a su empleo en

la industria del pan y en la elaboración de las bebidas alcohólicas. En ambos casos, las levaduras se emplean para aprovechar su capacidad de fermentar los azúcares o, en general, los hidratos de carbono.

En el caso del pan, el dióxido de carbono desprendido en la fermentación es el causante del esponjamiento de la masa, además de provocar la levadura ciertas modificaciones del sabor que hacen al pan más agradable al gusto. Sin embargo, la levadura no es esencial para la panificación en general, pues existen tipos de pan (los panes ázimos) que se llevan al horno sin que la masa haya fermentado, ya que no se le ha añadido levadura alguna.

Para las bebidas alcohólicas es, en cambio, excusado es decirlo, absolutamente esencial la acción de las levaduras sobre los zumos vegetales, pues el objetivo que se persigue con su fabricación es la obtención de una bebida en la que el alcohol etílico es su componente más característica.

La utilización empírica de las levaduras para la fermentación de los jugos de frutas es antiquísima, tanto que se suele citar como testimonio de esta venerable antigüedad nada menos que el Antiguo Testamento, en donde se lee que Noé se embriagó bebiendo zumo de uva fermentado, es decir, vino.

Aparte de este curioso antecedente bibliográfico sabemos que la humanidad consume desde tiempo inmemorial gran cantidad de bebidas fermentadas, y se puede decir que cada cultura tiene su propia o sus propias bebidas alcohólicas, todas las cuales tienen el denominador común de que los agentes de la fermentación son, por lo menos mayoritariamente, las levaduras. El vino, propio de los países mediterráneos, producto de la fermentación del mosto de la uva; la cerveza, de los pueblos del norte de Europa, en que se fermenta la malta o cebada germinada; la sidra, que se fabrica en donde se coleccionan gran cantidad de manzanas, pues es el resultado del jugo de estas frutas; el sake del Japón, bebida procedente de la fermentación del arroz; el pulque de los mejicanos, zumo fermentado del maguey (que nosotros llamamos pita); son tanto ejemplos variados de bebidas alcohólicas consumidas hoy en grandes cantidades; a ellos podríamos añadir otras ya en desuso, como el hidromiel de los romanos.

Todas estas bebidas pueden dejarse fermentar espontáneamente, pues las levaduras son muy abundantes en la naturaleza y están sobre los mismos frutos cuyos jugos van a servir de materia prima para la bebida y, por supuesto, muy abundantes en los lagares y demás recintos en los que se llevan a cabo estas fermentaciones. De hecho, la elaboración de los vinos y de las demás bebidas alcohólicas se ha realizado hasta hace poco tiempo de manera empírica, sin preocuparse de la flora microbiana causante de la fermentación.

Sin embargo, en la actualidad se seleccionan muy bien las levaduras responsables del proceso y los enólogos o los cerveceros cuidan mucho de que ninguna levadura «salvaje» intervenga en el proceso, el cual se lleva a cabo con levaduras conocidas y cuidadosamente escogidas para que los efectos sean los deseados, ya en cuanto a la mayor o menor producción de alcohol, ya en cuanto a otras características, que pueden estar en relación con la materia a fermentar, con la fase de la fermentación, etc.

Las principales levaduras que se emplean en la elaboración de las bebidas alcohólicas pertenecen al género *Saccharomyces* (*Sacch. cerevisiae*, *Sacch. uvarum*, etc.), pero no son las únicas, pudiéndose

encontrar otras muchas, entre las más conocidas, *Candida vini*, *Candida sake*, *Torulopsis stellata*, *Hansenula anomala*, *Pichia fermentans*, etc.

## LA SCP

Pero no todas las posibilidades de utilización de las levaduras en provecho nuestro son tan antiguas como el aprovechamiento de su capacidad fermentante. Hoy se ensayan en todo el mundo unos métodos de laboratorio (que ya se están llevando a escala industrial) destinados a obtener de las levaduras (y de otros microorganismos) las proteínas de que tan necesitada está la dieta alimenticia de una gran parte de la humanidad. Se trata de aprovechar, pues, no la acción de las levaduras, sino su propio cuerpo. En la jerga actual científica, tan proclive a las siglas, la proteína obtenida de estos microorganismos en cultivo se denomina SCP, es decir, «single cell protein», proteína de células aisladas, en contraposición a las proteínas de los tejidos que consumimos habitualmente como alimento cuando comemos cualquier tipo de alimento rico en proteínas, de origen animal o vegetal.

Ante el pavoroso déficit de proteínas que, como acabo de decir, padece el mundo, la SCP podría ser en el futuro, si no la solución, sí, por lo menos, parte de la solución.

Veamos, pues, primeramente, los términos en que aparece planteado este problema, en lo que se refiere a microorganismos utilizables, condiciones de cultivo y materias primas para la alimentación de estos microorganismos, para revisar después la problemática referente a su utilización como alimento de la SCP.

Puesto que todos los microorganismos tienen un elevado contenido proteico, se ha pensado en muchos de ellos para estos fines, por lo menos a escala de laboratorio, y se han ensayado principalmente bacterias (*Escherichia coli*, especies de *Pseudomonas*, *Nocardia*, *Bacillus*, etc.) y levaduras, sobre todo éstas, siendo las especies más utilizadas *Candida utilis*, *Saccharomyces cerevisiae* y *Hansenula anomala*. Todos estos microorganismos (y especialmente las levaduras) son de muy rápido crecimiento en condiciones apropiadas de cultivo y sus rendimientos en proteínas son relativamente grandes, habiéndose calculado que el contenido en proteínas de las levaduras es, aproximadamente, el 35 por 100 del peso de la célula completa.

Como quiera que, al llegar a la escala industrial, se trata de la obtención de toneladas de células, las condiciones del cultivo, así como la recogida de la cosecha, presentan una serie de problemas de ingeniería química de importancia, pero perfectamente resolubles en el momento actual. Destacaremos simplemente los problemas de mantenimiento de la temperatura apropiada (en el caso de las levaduras mediante sistemas de refrigeración muy cuidadosamente estudiados) el mantenimiento de un pH también apropiado y muy singularmente el problema de la aireación. En efecto, como se dijo anteriormente, el rendimiento en crecimiento de la levadura es mucho mayor cuando vive en aerobiosis, debido al efecto Pasteur, pero como quiera que el cultivo se realiza en un enorme tanque de fermentación, y hay que hacer llegar el aire, dentro de lo posible, a todos los puntos de la masa, el problema es complejo. Añadamos que se ha descubierto que la administración de cantida-

des de oxígeno superiores a las contenidas en el aire son mucho más apropiadas para el rápido crecimiento de las levaduras y en el Instituto de Fermentaciones del Consejo Superior de Investigaciones Científicas de Madrid se ha conseguido unos rendimientos espectaculares en el crecimiento de la levadura *Hansenula anomala* mediante la oxigenación con oxígeno puro.

El problema más importante no es, sin embargo, el mantenimiento de unas condiciones de cultivo apropiadas, fácil de resolver mediante un buen planteamiento tecnológico industrial, sino el de la elección de las materias primas para la nutrición de la levadura. En efecto, la materia prima debe ser nutritiva para las bacterias, barata y fácil de adquirir en grandes cantidades.

A este fin se han utilizado muchos materiales que, de ordinario, para que sean baratos suelen ser subproductos de otras industrias. Así, por ejemplo, melazas procedentes de azucareras, lejías bisulfíticas de las fábricas de papel, hidrolizados de madera, etc.

Ultimamente, a partir de 1963, se pusieron grandes esperanzas en la utilización como materia prima para la obtención de SCP de las parafinas y otros componentes del gas-oil y de otros productos de bajo precio procedentes de la industria de refinación del petróleo. Sin embargo, la perspectiva de un no lejano agotamiento de esta riqueza mineral y los precios en continuo ascenso de los crudos petrolíferos han desanimado mucho la investigación en este campo.

La última y más importante objeción para el rechazo de la utilización de los productos procedentes del petróleo ha sido la puesta de manifiesto de que en todos esos subproductos hay residuos consistentes en moléculas orgánicas cíclicas, que se acumularían en el cuerpo de las levaduras, concentrándose en ellas, como ocurre con otros productos químicos contaminantes, y se incorporarían, pues, a la SCP. Ahora bien, está demostrado que muchos de estos productos son cancerígenos, y no es necesario insistir en la absoluta necesidad de rechazar como alimento, tanto para el hombre como para los animales, un producto así contaminado.

En los momentos actuales parece que el sustrato más adecuado para la producción de SCP sería el metanol, producto muy energético, perfectamente asimilable por las levaduras, y perfectamente «limpio» de contaminantes cancerígenos.

Por último, parece conveniente poner de manifiesto los inconvenientes y peligros que puede tener la utilización de la SCP en alimentación animal o humana.

Es difícil, por razones culturales, pensar en una alimentación humana con SCP, pues las levaduras presentan un aspecto, textura, sabor, etc., muy diferentes a los de los alimentos usuales. Se ha de pensar, pues, primeramente, en utilizar las levaduras para la alimentación animal, aun a riesgo de perder parte del contenido proteico al dar el rodeo nutritivo que supone ali-

mentar a los animales con SCP y luego alimentarnos nosotros de los animales de consumo.

Ahora bien, incluso para la alimentación animal, el consumo de las levaduras no está exento de dificultades. En primer lugar, el sabor amargo, desagradable de ciertas levaduras, como por ejemplo, una de las más utilizadas, *Saccharomyces cerevisiae*. En segundo término, las levaduras deben ser muertas antes de su ingestión, pues al ser introducidas en cantidad en el tubo digestivo animal podrían seguir desarrollando actividades microbiológicas, como fermentaciones, absorción de nutrientes, etc., acciones probablemente perjudiciales.

Pero los inconvenientes más graves dimanarían de su composición química, que imposibilita su utilización en exclusiva para personas o animales e incluso las hace ser tóxicas. Los citados inconvenientes son en primer término, la elevada proporción en ácidos nucleicos que ostenta la célula de levadura, que alcanza aproximadamente un 25 por 100 de su peso. Ahora bien, el abuso de ácidos nucleicos en la dieta alimenticia humana o animal lleva consigo una abundancia anormal de purinas, que se metabolizan dando ácido úrico, con el consiguiente cuadro clínico de gota.

Además, la SCP es una proteína no equilibrada desde el punto de vista nutritivo, pues es relativamente pobre en aminoácidos sulfurados (metionina y cistina), por lo que su ingestión continuada y exclusiva puede llevar consigo una toxicidad que afecta sobre todo al hígado.

Por último, no hay que olvidar los problemas alérgicos, que se pueden presentar en animales alimentados en exclusividad con una proteína de este género.

Por todas estas razones, parece que el futuro de este alimento se hará tanto más esperanzador cuanto se resuelvan estos problemas, algunos de los cuales podrían ser resueltos mediante la investigación genética, obteniendo estirpes de levaduras, por ejemplo, relativamente más pobres en ácidos nucleicos o con mayor abundancia de aminoácidos sulfurados. Mientras tanto, el inmediato futuro está en su utilización en la alimentación animal, pero no de manera exclusiva, sino para suplementar otras dietas pobres en proteínas.

## CONCLUSION

Auxiliares inapreciables en la investigación microbiológica, utilizadas por el hombre desde la prehistoria y para la fabricación de las bebidas alcohólicas y el pan, quizá en el futuro resolviendo definitivamente el problema de la nutrición humana, las levaduras se nos revelan, pues, como unos magníficos acompañantes del hombre a través de su historia. Esta historia que, con toda seguridad no habría sido igual si no hubieran existido estos diminutos y activos microorganismos.