

Influencia de factores intrínsecos de los alimentos sobre la digestión y absorción del almidón

Juscelino Tovar

En comparación con aquellos que influyen sobre la digestión protéica, los factores que afectan la asimilación de los carbohidratos de la dieta siempre se consideraron relativamente sencillos. La principal diferencia reconocida entre los distintos constituyentes de este renglón yacía en la existencia de fracciones de bajo peso molecular -los llamados «carbohidratos simples» ó azúcares- y de moléculas de mayor tamaño ó «carbohidratos complejos» (1).

La clasificación mencionada ha recibido diversos tipos de crítica ya que adolece de poca claridad, al tiempo que refleja muy poco la complejidad que muestran los carbohidratos, tanto desde el punto de vista químico como el de su utilización fisiológica. La escasa precisión de los términos «simple» y «complejo», empleados profusamente en la literatura especializada y divulgativa, lejos de unificar criterios ha llevado a una mayor confusión (2). Así, por ejemplo, en los Estados Unidos los carbohidratos complejos se refieren casi exclusivamente al almidón, mientras que en el Reino Unido y su área de influencia, la denominación incluye también a los polisacáridos indigeribles ó fibra dietética. Como se discute a continuación, la limitada relevancia fisiológica de la división en base al tamaño molecular de los sacáridos se ha puesto de manifiesto reiteradamente en el transcurso de los últimos quince años.

Los avances más llamativos en esta área se refieren al conocimiento de la utilización de los almidones ingeridos. En virtud de las diversas etapas requeridas para la digestión de los almidones *in vivo*, tradicionalmente se pensó que su tasa de asimilación debía ser menor que la de los carbohidratos simples. Pese a esta diferencia potencial, el polisacárido era considerado un nutriente completamente digerible en el intestino delgado, concepto que hoy se encuentra en tela de juicio.

En base a la evidencia experimental reciente, y a la importancia que tanto la velocidad como la extensión de la digestión tienen sobre la biodisponibilidad de los carbohidratos (3), se ha propuesto la clasificación nutricional de los almidones atendiendo a su susceptibilidad a digestión. En ella se señalan 3 tipos principales de almidones: *i*) los de digestión rápida, *ii*) los de digestión lenta y *iii*) aquellos indigeribles (4). Las distintas categorías son el resultado de la acción conjunta de diversos factores capaces de afectar la digestión y/o absorción de los almidones dietarios.

Un aspecto de gran interés es la variabilidad observada en la respuesta metabólica del organismo a la ingestión de diferentes alimentos amiláceos debido, no sólo a su importancia para el control metabólico en casos de diabetes mellitus, sino también por otras posibles implicaciones fisiológicas. Dichas respuestas son comunmente expresadas de manera relativa a la respuesta obtenida

con un alimento de referencia (pan de trigo), bajo la figura de los índices 'glicémico' e 'insulínico' (5,6). En estudios pioneros en el área, David Jenkins y su grupo (7) observaron que, como característica general, las semillas de leguminosas desencadenan una respuesta glicémica postingesta menor que otros alimentos amiláceos. Números trabajos posteriores han permitido establecer que no todos los almidones, ingeridos en cantidades comparables, provocan cambios equivalentes en la glicemia y la insulinemia. Además de las leguminosas, las pastas representan otro de los grupos de alimentos que promueven bajas respuestas metabólicas.

La velocidad a la cual se digiere el polisacárido tiene gran influencia sobre la respuesta metabólica a los almidones de la dieta (6,8). Para la cuantificación de dicha velocidad de digestión *in vitro* se han desarrollado una serie de métodos enzimáticos que proporcionan estimados de relevancia fisiológica variable (9). Sobre la base de estos métodos y de las observaciones metabólicas *in vivo*, se ha descrito una serie de factores que pueden afectar la velocidad de digestión del almidón (Tabla 1).

TABLA 1

Algunas propiedades de los alimentos que pueden influir sobre la respuesta metabólica a los carbohidratos

-
- Propiedades del almidón
 - Fuente botánica
 - Grado de cristalinidad
 - Relación amilosa amilopectina
 - Formación de complejos amilosa-lípidos
 - Fibra dietética
 - Estructura celular
 - Estructura del tejido botánico
-

El origen del almidón determina, hasta cierto punto, la velocidad de digestión del polisacárido. Como ejemplo se tiene que, generalmente, los almidones de leguminosas son más lentamente hidrolizados por amilasas que los provenientes de cereales o tubérculos (10).

Otra de las razones que pueden explicar las diferencias en el índice glicémico e insulínico de los alimentos es el grado de cristalinidad del almidón. En un elegante estudio, Holm y col. (11) demostraron la estrecha relación que existe entre el grado de gelatinización alcanzado mediante tratamiento térmico del almidón de trigo, la tasa de α -amilólisis *in vitro* y la magnitud de las respuestas glicémica e insulínica en animales de experimentación. En nuestro laboratorio hemos realizado *in vitro* observaciones similares con almidones de cereales y leguminosas (10). Los cambios progresivos asociados a la gelatinización del almidón (pérdida de cristalinidad e integridad granular, incremento en la solubilidad parcial de los polisacáridos constituyentes), son responsables directos de la mayor

susceptibilidad al ataque enzimático y, por ende, de la mayor velocidad de digestión y absorción *in vivo*. Sobre este punto, es conveniente destacar que la magnitud de la gelatinización depende de las condiciones de humedad y temperatura y duración del tratamiento térmico, por lo cual diversos métodos de cocción/procesamiento pueden dar origen a alimentos con una amplia gama de susceptibilidades a digestión enzimática (12).

La relación amilosa:amilopectina puede influir también en la tasa de digestión del almidón. Aún cuando el carácter esencialmente lineal de la amilosa determina una menor superficie de interacción con las enzimas amilolíticas, la menor tasa de amilólisis y respuesta glicémica observada para el amilomaíz procesado (alto contenido de amilosa) puede deberse a la dificultad que presenta este tipo de almidones para su gelatinización, por lo cual retienen una proporción alta de polímeros en forma anhidra, con escasa capacidad de dispersión e hidrólisis (13). Por otra parte, como se señala a continuación, la posibilidad que aquellos almidones con alto contenido relativo de amilosa formen complejos de difícil digestión con moléculas lipídicas no puede descartarse.

En su forma nativa ó a consecuencia del procesamiento, el almidón puede interactuar con otros constituyentes del alimento, formando complejos relativamente estables. Esto es particularmente importante en el caso de la amilosa, que tiende a formar complejos de inclusión con diversos compuestos orgánicos e inorgánicos (14). La asociación de la amilosa con algunos lípidos anfipáticos (monoglicéridos, lisofosfolípidos), endógenos ó añadidos como estabilizantes, se traduce en un descenso de la velocidad de hidrólisis y de la magnitud de las respuestas glicémica e insulínica (15). La explicación de este fenómeno parece residir en la menor exposición al ataque enzimático que presenta el carbohidrato cuando se encuentra acompañado. La interacción almidón:proteína puede disminuir también la tasa de amilólisis de cereales y raíces *in vitro* (16,17), pero no se ha estudiado su influencia sobre la disponibilidad *in vivo*.

Además de los factores relacionados directamente con las moléculas constituyentes del almidón, se ha establecido que ciertas características estructurales del alimento amiláceo pueden ejercer una influencia notable sobre la velocidad a la cual éste se procesa en el lumen intestinal y, por ende, sobre la respuesta metabólica postprandial (Tabla 1). Uno de ellos es su contenido cuantitativo y cualitativo de fibra dietética. Aún cuando este factor parece tener mayor importancia cuando se suministra fibra soluble como suplemento dietario en cantidades relativamente grandes (18), la incorporación de vegetales ricos en fibras en la dieta puede atenuar la respuesta metabólica de manera significativa (19).

En ciertos alimentos convencionales, como las leguminosas, mucho más relevante parece ser el efecto de la presencia de componentes fibrosos en su organización estructural natural: la pared celular. Esto ha sido puesto de manifiesto en diversos estudios que demuestran que las células que contienen al almidón en estos granos presentan paredes gruesas y particularmente resistentes a efectos termo-mecánicos moderados (20,21). Por esta razón, la velocidad de digestión (22) y las respuestas glicémica e insulínica (23) a la ingesta de leguminosas depende del tipo de procesamiento aplicado a la semilla. Este fenómeno, que también puede afectar la utilización digestiva de la proteína (24), se explica por la restricción del hinchamiento y la limitada accesibilidad al ataque enzimático observadas en el almidón encerrado por estructuras celulares relativamente intactas (21-23). En adición a este efecto de la pared celular, la arquitectura misma del cotiledón parece influir también en la velocidad de digestión del almidón en estos alimentos (23).

En las pastas, la microestructura también determina gran parte de las propiedades de digestión del almidón. La experimentación reciente ha demostrado que el grado de compactación del almidón condiciona en alto grado la susceptibilidad a hidrólisis enzimática de diferentes productos a base de trigo. Así la respuesta metabólica a la pasta, que es significativamente menor que la observada para el pan elaborado con los mismos ingredientes, sufre un incremento apreciable por la simple homogeneización mecánica del material (13). Otros ejemplos de la importancia de la microestructura en la velocidad de digestión del almidón y la magnitud de la respuesta glicémica han sido proporcionados por productos de panificación contentivos de granos completos (25).

Es importante destacar que el hecho que existan alimentos con cantidades importantes de almidón de digestión lenta no significa que estos productos sean utilizados de manera incompleta por el organismo humano. Por ejemplo, el almidón en los cereales crudos se digiere de manera lenta pero completa. No obstante, hoy se sabe que una proporción variable del almidón presente en nuestros alimentos escapa a los procesos de digestión y absorción en el intestino delgado normal, material conocido genéricamente como «almidón resistente» (2, 26). Aún cuando las diversas razones que conllevan a la digestión incompleta del almidón (tabla 2) pueden operar de manera conjunta en un mismo alimento, en la mayoría de los casos la retrogradación de la amilosa parece ser el factor de mayor importancia (26). Este tópicó es objeto de una presentación detallada en este simposio.

TABLA 2

Factores intrínsecos que disminuyen la eficiencia del proceso digestivo de los almidones¹

- Presencia de fracciones de accesibilidad física limitada (leguminosas, cereales completos)
- Gelatinización incompleta de gránulos tipo B (papas, musáceas)
- Aparición fracciones retrogradadas de amilosa (mayor parte de los alimentos procesados térmicamente)

¹ Adaptado de Englyst y col. (4)

REFERENCIAS

1. Jenkins DJA, AL Jenkins, TMS Wolever, Thompson LU & VA Rao. Simple and complex carbohydrates. *Nutr. Rev.* 44:44-9; 1986.
2. Asp N-G. Nutritional classification of food carbohydrates. *Am J Clin Nutr.* 59:679S-81S; 1994.
3. Tovar J. Bioavailability of Starch in Processed Legumes: Importance of Physical Inaccessibility and Retrogradation. *Scand J Nutr.* 36:164-72; 1992.
4. Englyst HN, SM Kingman & JH Cummings. Classification of nutritionally important starch fractions. *Eur J. Clin. Nutr.* 46:S33-S50, 1992.
5. Jenkins DJA, TMS Wolever, AL Jenkins, RG Josse & GA Wong. The glycaemic response to carbohydrate foods. *Lancet* ii:388-91; 1984.
6. Borneo FRJ, D Castagliola, SW Riskalla, A Blayo, AM Fontvieille, M-J Hart, M Letanoux, G Tchobroutsky & G Slama. Insulinemic and glycemic indices of six starch-rich foods taken alone and mixed in a meal by type 2 diabetics. *Am J Clin Nutr.* 45:588-95; 1987.
7. Jenkins DJA, TMS Wolever, RH Taylor, H Barker & H Fielden. Exceptionally low blood glucose response to dried beans. Comparison with other carbohydrate foods. *Br Med J.* 281:578-80; 1980.
8. Jenkins DJA, Cuff D, TMS Wolever, D Knowland, LU Thompson, Z Cohen & E Propipchuk. Digestibility of carbohydrate foods in an ileostomate: relationship to dietary fiber, *in vitro* digestibility and glycemic response. *Am J Gastroenterol.* 82:709-17; 1987.

9. Granfeldt Y, I Björck, A Drews & J Tovar. An in-vitro procedure based on chewing to predict metabolic response to starch in cereal and legume products. *Eur J Clin Nutr.* 46:649-60; 1992.
10. Socorro M, A Levy-Benshimol & J Tovar. In Vitro Digestibility of Cereal and Legume (*Phaseolus vulgaris*) Starches by Bovine, Porcine and Human Pancreatic α -Amylases. Effect of Dietary Fiber. *Starch/Stärke* 41: 69-71; 1989.
11. Holm J, I Lundquist, I Björck, A-C Eliasson & Asp N-G. Degree of gelatinization, digestion rate of starch in vitro and metabolic response in rats. *Am J Clin Nutr.* 47:1010-16; 1988.
12. BNF (The British Nutrition Foundation's Task Force). *Complex Carbohydrates in Foods*. London, Chapman and Hill, 1990, pp. 3-21.
13. Granfeldt Y. Food factors affecting metabolic responses to cereal products. Tesis Doctoral. Universidad de Lund. 1994.
14. Billiaderis CG. The structure and interactions of starch with food constituents. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* 69:60-78; 1991.
15. Holm J, I Björck, S Ostrowska, A-C Eliasson, N-G Asp, K Larsson & I Lundquist. Digestibility of amylose-lipid complexes in vitro and in vivo. *Starch/Stärke* 35:294-97; 1983.
16. Holm J & I Björck. Effect of thermal processing on wheat starch: enzymic availability. *J. Cereal Sci.* 8:261-8; 1988.
17. Tovar J, I Björck & N-G Asp. On the nutritional properties of starch and dietary fiber in cassava bread. *Nutr Rep Int.* 39:1237-46; 1989.
18. Asp N-G, I Björck, Y Granfeldt, K Gustafsson, B Hagander, H Liljeberg, M Nyman & J Tovar. Food properties affecting the rate and extent of carbohydrate absorption. En: *Proceedings of Bioavailability '93: Nutritional, Chemical and Food Processing implications of Nutrient Availability*. Federal Research Centre for Nutrition, Karlsruhe, Germany. 1993.
19. Gustafsson K. Metabolic effects of fibre-rich foods: Studies of vegetables, oats and wheat on glucose and lipid metabolism, and satiety. Tesis Doctoral, Universidad de Lund. 1994.
20. Würsch P, S Del Vedovo & B Koellreuter. Cell structure and starch nature as key determinants of the digestion rate of starch in legumes. *Am J Clin Nutr.* 43:25-29; 1986.
21. Tovar J, A de Francisco, I Björck & N-G Asp. Relationship Between Microstructure and In Vitro Digestibility of Starch in Precooked Leguminous Seed Flours. *Food Struct.* 10: 19-26; 1991.
22. Tovar J, I Björck & N-G Asp. Starch Content and α -Amylolysis Rate in Precooked Legume Flours. *J. Agric. Food Chem.* 38:1818-23; 1990.
23. Tovar J, Y Granfeldt & I Björck. Effect of Processing on Blood Glucose and Insulin Responses to Starch in Legumes. *J Agric Food Chem.* 40: 1846-51; 1992.
24. Melito C & J Tovar. Cell walls limit in vitro protein digestibility in processed legume seeds. *Food Chem.* En prensa. 1995.
25. Liljeberg E, Y Granfeldt & I Björck. Metabolic responses to starch in bread containing intact kernels versus milled flour. *Eur J Clin Nutr.* 46:561-75; 1993.
26. Tovar J. Natural and man-made resistant starch. *Agro Food Ind. Hi-Tech.* 5 (6):23-25; 1994.