

Nivel de madurez tecnológico (TRL) de la tecnología de secado solar en México

Juan Quintanar Olguin

Campo Experimental San Martinito, INIFAP

Km. 56.5 Carr. Federal Méx-Pue. Tlahuapan, Pue, México.

quintanar.juan@inifap.gob.mx

Resumen— El secado de productos agrícolas mediante el aprovechamiento de la energía solar es una de las muchas aplicaciones solares que se han practicado desde tiempos remotos. Durante los últimos años, se han desarrollado varios diseños de secadoras con el objeto principal de reducir costos. Un problema actual, para incorporar estas tecnologías en los procesos de conservación de alimentos es determinar su estado de madurez. En el presente trabajo, se realiza el análisis mediante el uso de los niveles de madurez tecnológica (TRL), evaluando los pasos clave de la progresión de las tecnologías de secado solar, desde el concepto inicial hasta el rendimiento comprobado, bajo la premisa que para alcanzar el siguiente nivel de TRL se deben satisfacer todos los criterios anteriores y no antes. Los resultados muestran que la tecnología de secado solar compuesto por un sistema de componentes, que actualmente se utiliza en México, se encuentran en el nivel TRL 6: Prototipos validados y demostrados en ambientes de producción real.

Abstract — Drying of agricultural products through the use of solar energy is one of the many solar applications that have been practiced since ancient times. During the last years, several dryer designs have been developed with the main objective of reducing costs. A current problem, to incorporate these technologies in food preservation processes is to determine their state of maturity. In the present work, the analysis is made by using the levels of technological maturity (TRL), evaluating the key steps of the progression of solar drying technologies, from the initial concept to the proven performance, under the premise that To reach the next level of TRL, all the above criteria must be satisfied and not before. The results show that most of the solar drying technologies are in the TRL6. Prototypes validated and demonstrated in real production environments.

Palabras clave — Tecnología secado solar, TRL, productos agrícolas.

I. INTRODUCCIÓN

El secado es una técnica de conservación posterior a la cosecha para reducir la pérdida de excedentes estacionales y obtener más ganancias durante los periodos de escases. Durante los últimos años, se han desarrollado varios tipos de secadoras solares para su aplicación en secado de productos agrícolas. Los resultados evaluados revelan que el proceso de secado es bastante simple, menos costoso y el producto se seca en

un ambiente higiénico. El secado solar ayuda a retener la calidad del producto al reducir su masa y volumen, lo que ayuda a un buen empaque de estos productos para su mejor movilidad [1], [2].

La tecnología de los secadores solares basa su funcionamiento en el principio “invernadero”. Los sistemas de captación de la energía solar, se clasifican en dos grandes grupos: aquellos que cuentan con un dispositivo de captación independiente de la cámara de secado y los que utilizan la propia cámara de secado como área de captación de la radiación solar. Entre los sistemas con captación independiente pudieran considerarse diversas tecnologías de captación: colectores planos, canales cilíndricos parabólicos y túneles de polietileno, entre otros. Sin embargo, la mayoría de estos secadores son equipos generalmente de baja capacidad, que se utilizan principalmente para el secado de diversos alimentos de origen agrícola, ya sea para uso familiar o para la comercialización de algunos excedentes [3].

Actualmente, la evaluación de los secadores solares básicamente se sigue realizando en términos de su rendimiento térmico. Por lo que su selección y adquisición como nueva tecnología se realiza según lo que se usa comúnmente. Esto da como resultado la selección de secadores que pueden no ser adecuados para un producto particular que se va a secar o para condiciones de funcionamiento específicas. Sin embargo, para masificar el uso de una tecnología como la solar, es fundamental conocer su grado de madurez, o lo que es lo mismo, el grado de desarrollo en que se encuentra con el fin de conocer y valorar la vida útil que le resta, descartando aquel recurso tecnológico que se encuentre en una fase avanzada de saturación o directamente en fase de obsolescencia.

La selección de una tecnología a incluir en una empresa o programa de desarrollo debe, no sólo tener en cuenta la idoneidad para la realización de una determinada función, o mejor respuesta a un requisito operativo, sino también criterios objetivos de costo y plazo. Para esto es fundamental conocer el grado de madurez, o lo

que es lo mismo, el grado de desarrollo alcanzado por la tecnología en cuestión.

Uno de los métodos utilizados para sistematizar el concepto de madurez tecnológica es el de niveles TRL (Technology Readiness Levels). Los niveles TRL constituyen un sistema de medida que permite evaluar el grado de madurez de una tecnología en particular, con el fin de mejorar el tiempo de transición o inserción de una tecnología a un programa de desarrollo de productos [4] o establecer comparaciones de madurez entre diferentes tecnologías [5]. Nace en los años 90 como una herramienta de apoyo a la planificación de tecnologías espaciales en la NASA y luego adoptada por el Ministerio de Defensa de los Estados Unidos, que establece su utilización como obligatoria en la mayoría de sus programas de desarrollo de tecnología [6].

En los años posteriores, ha tenido un crecimiento importante en sectores como el de la aviación o en la energía nuclear [7] o países como Australia y Canadá, utilizan ésta metodología como apoyo en la planificación del I+D, en un intento de mejorar la gestión de la tecnología y reducir retrasos en sus programas. En general, se ha convertido en una herramienta muy eficaz para medir los grados de madurez de una tecnología y su aplicación es fundamental a la hora de tomar decisiones.

La evaluación del concepto de madurez tecnológica (TRL) consiste de nueve niveles (Tabla 1), bajo un enfoque sistemático de medición / métrica para evaluar la madurez de una tecnología particular y para permitir una comparación consistente de madurez entre diferentes tipos de tecnologías como materiales, componentes de hardware, componentes de software y dispositivos.

La escala comienza con una tecnología en una forma científica muy básica, y progresa a una tecnología probada en el entorno operativo. Por lo tanto, para una tecnología genérica, los niveles describen los requisitos de demostración, incluido el estado del ensamblaje de tecnología y ambiente, a fin de aumentar la fidelidad al sistema operativo final. En el uso común, una tecnología se evalúa en la escala TRL para comprender mejor la progresión en la preparación de la tecnología para el funcionamiento eventual.

TABLA 1
Niveles de madurez tecnológica (TRL)

Nivel TRL	Descripción
TRL 1	Principios básicos observados y reportados
TRL 2	Concepto o tecnología formulados
TRL 3	Prueba de concepto
TRL 4	Validación a nivel de componentes en laboratorio
TRL 5	Validación de componente y/o disposición de los mismos en un entorno relevante
TRL 6	Modelo de sistema o subsistema o demostración de prototipo en un entorno relevante
TRL 7	Demostración de sistema o prototipo en un entorno real
TRL 8	Sistema completo y certificado a través de pruebas y demostraciones
TRL 9	Sistema probado con éxito en entorno real

Con el fin de poder facilitar el proceso de medición de los niveles TRL, Nolte [8] diseñó y desarrolló la TRL Calculator que cuenta con 8 versiones. El software funciona mediante una hoja de cálculo, dando click a un sí o un no, como respuesta a cada una de las 274 variables, distribuidas en los nueve niveles (Tabla 2), donde previamente se han establecido porcentajes para conocer puntos de desarrollo de la tecnología.

Se tendrá un nivel bajo cuando el porcentaje de cumplimiento de las preguntas sea de 0% a 66%, cuando el porcentaje sea de 67% a 99% el nivel será medio y cuando el porcentaje sea de 100% el nivel será total. Sin embargo, se considera que un nivel TRL está completo cuando cumple con todas las variables sean de 100%.

TABLA 2
Numero de variables por nivel de madurez tecnológica (TRL)

Nivel TRL	No. de variables
TRL 1	12
TRL 2	26
TRL 3	31
TRL 4	45
TRL 5	48
TRL 6	47
TRL 7	29
TRL 8	22
TRL 9	14

Bajo esta perspectiva, el presente estudio tiene como objetivo realizar un análisis del nivel de madurez tecnológica (TRL) de la tecnología de secado solar utilizado en México.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción de la tecnología de secado solar. Actualmente existen varias definiciones de "tecnología" según la escala utilizada, pero en el sistema TRL la conceptualización predominante es la de tecnología de componentes, donde se evalúa la madurez de los componentes por separado. Bajo esta consideración, la tecnología de secado solar se considera como una sola tecnología, que consiste de cuatro componentes fundamentales, y aunque pueden existir variaciones y agregados de equipo según el diseño o grado de sofisticación del mismo, los elementos principales son: termodinámica en la cámara de secado, componente del sistema de captación o colectores solares, componente del sistema de circulación del aire y física del sistema de control de humedad y temperatura.

El sistema de evaluación TRL. La evaluación del concepto de madurez tecnológica se realizó mediante la utilización de los niveles TRL (Technology Readiness Levels), que consiste en nueve niveles. Los tres primeros niveles (TRL1-TRL3) corresponden a la formulación del concepto, los tres siguientes (TRL4 - TRL6) a la evaluación del mismo y es sólo a partir del TRL7, cuando se considera que la tecnología está en nivel de demostración. Por último, la fase TRL9 está ya asociada a la producción; la tecnología ha pasado ya a formar parte del sistema [9].

Para calcular los niveles TRL, se utilizó la aplicación de la calculadora TRL, desarrollada por Nolte y compañía [10], que consiste en responder una serie de preguntas en cada nivel y verificar si se ha cumplido con cada uno de los requisitos definidos en cada nivel, de acuerdo a la siguiente descripción:

TRL 1. En este nivel se pretende identificar que algún tipo de investigación científica se puede aplicar, es importante que cualquier proceso de investigación que se comience busque resolver alguna necesidad existente del mercado y que no solo se quede en una investigación sin aplicación en el mercado.

TRL 2. En este nivel se busca conocer si el producto o servicio planteado cuenta con una aplicación en el mercado pero dejando claro que esta aún no se ha llevado a fase experimental y que continúa con su desarrollo, para lo cual es importante ir identificando el cliente potencial y de ser posible involucrar en el desarrollo.

TRL 3. En este nivel lo que se pretende es empezar el montaje de pruebas de laboratorio o de campo en contexto y escala apropiado para el desarrollo del producto o servicio. Identificando los componentes esenciales para su desarrollo y en que se puede diferenciar de soluciones, tecnologías o intervenciones existentes o desarrolladas anteriormente y cómo se pueden ajustar en lo planteado.

TRL 4. En este nivel lo que se pretende es validar en laboratorio o en campo pero sin tenerlo aun en un entorno real. En este punto es fundamental la interacción con el cliente para poder ir validando que lo que se está ejecutando.

TRL 5. En este nivel lo que se pretende es validar el producto o servicio en un entorno real, que ya fue validado en laboratorio o campo y cumplió las condiciones previstas por lo cual se garantiza un funcionamiento de la solución, tecnología o intervención. Ya se cuenta con un prototipo inicial claro para su validación y con un análisis de costos.

TRL 6. En este nivel lo que se pretende es demostrar el funcionamiento de la tecnología, para lo cual se tienen identificado recursos, costos, necesidades de inversión. Además, ya se cuenta con un prototipo funcional validado en condiciones reales y bajo diferentes condiciones de aplicación y funcionamiento, falta garantizar su calidad y confiabilidad.

TRL 7. En este nivel se pretende garantizar la calidad, confiabilidad y seguridad del producto o servicio, se establecen mecanismos de control y seguimiento para evitar problemas y malos funcionamientos, se pone a prueba el máximo rendimiento para conocer sus límites críticos. Se tienen claramente identificados los costos y se puede iniciar la etapa de producción.

TRL 8. En este nivel se cuenta con un seguimiento y control al producto o servicio, se cuenta con el proceso totalmente documentado, se encuentra totalmente funcional, se tienen identificado el canal de comercialización y los costos se encuentran dentro del margen de lo presupuestado y planeado.

TRL 9. En este nivel lo que se pretende es integrar el producto o servicio a otras soluciones o buscar otro tipo de aplicación que se pueda implementar a partir de la actual. Se cuenta con una producción estable que cumple con la demanda actual y potencial entre la que se incluye una capacidad instalada.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Desde hace varios años, se han venido haciendo en México un gran número de estudios para el aprovechamiento de la energía solar en el secado de los productos forestales y agropecuarios [11], [12], abarcando desde investigación básica hasta desarrollo de sistemas para aplicación a escala industrial [13, [14].

Los resultados obtenidos en relación al diseño, muestran una gran diversidad: tipo gabinete, tipo domo, elaborados a base de bambú, calentador solar de aire con cavidades cilíndricas y túneles sin estructura, además, secadores tipo invernadero, con colectores internos y circulación forzada. También se han probado diversos prototipos como el de circulación natural y colectores externos, otro con un colector plano interno a la cámara de secado y con circulación forzada, otro con diseño del colector de media caja u otro diseño con colectores planos integrados a la cámara de secado [15].

Al realizar la evaluación de la tecnología de secado solar, como una tecnología de componentes y utilizando la información documental de los diferentes reportes existentes sobre diseño y evaluación de secadores solares utilizados en productos agropecuarios en México, para contestar las diferentes preguntas de la calculadora TRL.

Los resultados muestran un nivel TRL 6, que corresponde a prototipos validados y demostrados en ambientes de producción real. De acuerdo al análisis, algunas de las variables se encuentran entre en un 70% aproximadamente. Estas variables son:

- a) Se cuenta con el diseño de pruebas finales para validar el producto y/o servicio;
- b) Se cuenta con usuarios finales para realizar la transferencia tecnológica;
- c) Los prototipos se han validado en condiciones reales extremas,
- d) El producto y/o servicio se encuentra casi completo y falta asegurar su calidad y funcionalidad.

Adicionalmente, se debe tener en cuenta el desarrollo de otras variables y puntos que son clave para mejorar el producto y/o servicio que son claves para el desarrollo pleno de la solución.

Por otro lado, la evaluación del nivel de madurez no debe ser estática y a medida que una

tecnología se sigue desarrollando, su nivel de maduración continúa, por lo que se vuelve cada vez más importante que se realice una revisión y validación independientes de los resultados [16], en particular cuando el grado de integración de los componentes tecnológicos aumenta y el entorno de prueba se aproxima cada vez más al entorno operativo de uso final.

Así, aun cuando la tecnología de secado solar en México, tiene actualmente un nivel TRL 6, ya que no ha alcanzado el desarrollo comercial, por su bajo volumen de procesamiento. Sin embargo, esta tecnología es una opción real para secar productos agropecuarios, mejorando la productividad y la rentabilidad en la empresa de secado, por lo tanto, para que un agricultor la adopte, debe proporcionar alguna forma de satisfacción (utilidad).

IV. CONCLUSIONES

El nivel de madurez de la tecnología de secado solar en México, se clasifican como TRL 6, que corresponde a prototipos validados y demostrados en ambientes de producción real, sin alcanzar su desarrollo comercial, pero que es factible de usarse por pequeños productores, ya sea para uso familiar o para comercialización de algunos excedentes.

El uso de la evaluación del nivel de madurez tecnológica mediante la calculadora TRL, apoya en la gestión general para el desarrollo de una tecnología, dado que evalúa la situación actual del proceso de maduración de la tecnología.

REFERENCIAS

- [1] Umayal S., A. R. and E. VeeramaniPriya. 2017. A review of solar dryers for drying agricultural products. *Indian J. Sci. Res.* 14(1):311-317
- [2] Sharma A., O. Chatta and A. Gupta. 2018. A review of solar energy use in drying. *International Journal of Engineering Technology Science and Research* 5(3):351-358.
- [3] Belessiotis, V., & Delyannis, E. 2011. Solar drying. *Solar Energy*, 85(8), 1665–1691.
- [4] Graettinger C. P., S. Garcia, J. Sivi, R. J. Schenk and P. J. Van Syckle. 2002. Using the Technology Readiness Levels scale to support technology management in the DoD's ATD/STO Environments. *SPECIAL REPORT CMU/SEI-2002-SR-027*. Carnegie Mellon University. 27 p.
- [5] TEC-SHS. 2009. Technology readiness levels handbook for space applications. *TEC-SHS/5551/MG/ap*. 60 p.
- [6] Homeland Security Studies and Analysis Institute (HSSAI). *Department of homeland security science and technology readiness level calculator (ver 1.1). Final Report and User's Manual*. Department of Homeland Security Science and Technology Directorate. Arlington, VA (2009).

- [7] Li N. 2008. Lead-alloy coolant technology and materials e technology readiness level evaluation. *Progress in nuclear energy* 50:140–151.
- [8] Nolte, W L: AFRL Hardware and software transition Readiness Level Calculator. Versión 2.2. Excel. EE.UU. AFRL/SNOL.
- [9] Altunok T. and T. Cakmak. 2010. A technology readiness levels (TRLs) calculator software for systems engineering and technology management tool. *Advances in Engineering Software* 41:769–778.
- [10] Mitchell, J. A. 2009. Measuring the maturity of a technology: Guidance on assigning a TRL. Sandia report SAND2007-6733. Albuquerque, NM. 34 p.
- [11] Finck P., A. 1992. Experiencias de la Universidad Iberoamericana en el secado solar de productos agropecuarios. *La Revista Solar* 22:4-20.
- [12] Torres E.; M. Picón N.; J. J. Navarrete y P. Rivera. 1996. Secado solar de productos agrícola en el Estado de Guanajuato. *In: Memorias XX Reunión Nacional de Energía Solar*. Xalapa, Ver.
- [13] Pilatowsky I. y Vázquez B. J. 1997. Diseño preliminar de un sistema solar termohidrórico aplicado al secado de productos agrícolas. *In: Memorias XXI Reunión Nacional de Energía Solar*. Chihuahua, Chihuahua.
- [14] Iglesias R., J. Pantoja., J. Moreira y G. Ferrara I. 2011. Diseño de un secador solar con circulación forzada. *Lacandonia* 5(1):79-88.
- [15] Quintanar O. J. (2016) Secado solar. *In: Unistmo. Alternativas energéticas*. Universidad del Istmo. Tehuantepec, Oaxaca, Méx.
- [16] Valerdi, R. and R. J. Kohl. 2004. An approach to technology risk management. *Proceeding's Engineering Systems Division Symposium*. MIT, Cambridge, MA.