

# EL PROCESO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO EN EL SISTEMA SICUP®

**Carlos Angarita(\*)**  
**Alberto Lovera(\*\*)**

A la memoria de Alejandro Calvo

## Introducción

El éxito de un proyecto de investigación y desarrollo tecnológico depende en gran medida del cumplimiento de una serie de fases interactuantes. A su vez, cada nuevo desarrollo se nutre de la acumulación de conocimientos y experiencias que se potencian con su sistematización. Sin embargo, en el área de la construcción no es lo más frecuente que los diseñadores de tecnología hagan explícito el proceso que los conduce a la obtención de un determinado resultado, produciéndose así, en algunos casos, una pérdida significativa de la experiencia acumulada, que de estar al alcance de otros, e incluso de quienes han llevado a cabo el proceso de desarrollo, les ahorraría muchos esfuerzos, facilitaría la acumulación de experiencias y redundaría en el avance del propio proceso de investigación y desarrollo tecnológico. Esta situación forma parte de las dificultades y/o los caminos particulares que toma en la construcción la penetración de los avances científicos y técnicos, tema sobre el cual no nos podemos detener, pero donde se han operado cambios significativos (1).

En el caso del Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción (IDEC), particularmente en sus primeras fases, no cabía esperar una solución completamente satisfactoria al problema de un proceso

(\*) Profesor, Investigador del IDEC FAU UCV,

(\*\*) Profesor, Investigador del IDEC FAU UCV,

riguroso de investigación y desarrollo en el campo de la construcción. La solidificación de un enfoque más sistemático, analógico con el de otras áreas del desarrollo tecnológico, con los matices del caso debido a las características de la actividad de la construcción, debió pasar por todo un proceso de decantamiento. Gracias a la asimilación y reflexión de su propia experiencia ha abierto la puerta a la entrada de la rigurosidad en su trabajo de investigación y desarrollo. Lo aquí analizado es parte de ese proceso.

El Sistema Constructivo de Cubiertas de Plástico (SICUP 1) constituye uno de los productos más exitosos que han salido del trabajo del IDEC, el primero que fue comercializado a través de la empresa de dicho Instituto, TECNIDEC S.A.. Precisamente por ello resulta importante realizar un primer intento de reconstrucción y análisis del proceso de desarrollo de dicho sistema. Esta reconstrucción no habría sido posible sin la colaboración prestada por Alejandro Calvo, responsable del proyecto y diseñador del sistema, con quien sostuvimos numerosas entrevistas y discusiones que nos permitieron el conocimiento del proceso seguido.

### Fases del proceso metodológico de proyectos de desarrollo tecnológico

Antes de entrar de lleno en nuestro análisis del SICUP, presentaremos las principales fases que en general se establecen en la metodología de investigación y desarrollo, que nos servirán más tarde para reconstruir el proceso del caso específico estudiado.

En general, los textos relativos a la Metodología de Investigación y Desarrollo Tecnológico identifican cinco grandes fases o etapas que deben cumplirse a lo largo de la ejecución de un proyecto concreto. Las fases que a continuación describiremos no responden exactamente a ninguno de los modelos teóricos disponibles, constituyen más bien una síntesis de los esquemas planteados por diferentes autores (2).

Las fases que debe recorrer un proyecto de desarrollo tecnológico son a grandes rasgos las siguientes: 1) Fase Conceptual; 2) Fase de Definición; 3) Fase de Producción; 4) Fase de Operación; 5) Fase de Evaluación.

Las relaciones entre las distintas fases y pasos no deben interpretarse linealmente, la forma como se presentan persigue el objetivo de ordenarlas para el análisis. La investigación y el desarrollo de tecnología es un proceso complejo donde existen constantemente vueltas atrás, retroalimentaciones, solapes y saltos entre las fases.

#### 1. Fase Conceptual

Partiendo de la existencia de una necesidad manifiesta o implícita, que proviene de un cliente externo o del diseñador mismo, este último evalúa la posibilidad de asumirla en función de sus recursos: experiencia previa, tiempo, habilidad, prioridad, etc.

En esta fase se pueden identificar los siguientes pasos:

1. Establecimiento de la necesidad a resolver: el problema
2. Descripción detallada del problema
3. Evaluación de la conveniencia y posibilidad de afrontar la solución del problema
4. Asumpción del problema
5. Exploración de las opciones de solución
6. Evaluación de las opciones de solución y escogencia de una (primer nivel de estudio de factibilidad técnica y económica).

#### 2. Fase de Definición

En esta fase existe una constante retroalimentación del proceso. Nutriéndose de los resultados de los ensayos realizados, se evalúa y se afina la solución escogida. Puede que esta solución se abandone y se adopte una que no haya sido considerada anteriormente. Puede ocurrir también que se abandone definitivamente el proyecto.

Una vez escogida provisionalmente una opción de solución se somete ésta a un análisis detallado, evaluando sus virtudes o defectos para solucionar el problema (segundo nivel de estudio de factibilidad técnica y económica). Se incluyen en esta fase la ejecución de modelos y prototipos, estos últimos si la producción será en serie, para finalizar con el diseño detallado del producto y del proceso de producción.

En esta fase se pueden identificar los siguientes pasos:

1. Anteproyecto
2. Proyecto detallado del producto: especificación de partes y componentes, análisis de costos.

3. Diseño del proceso de producción: escogencia de opciones de proceso, selección del más adecuado, especificación de fases y operaciones, especificaciones de locales, maquinarias, herramientas, mano de obra e insumos.

### 3. Fase de Producción

El proceso de producción diseñado en la fase anterior es sometido a prueba. Se realiza una producción experimental o producción piloto que conduce a modificaciones del proceso de producción hasta alcanzar el definitivo. Se diseña la fase de distribución del producto y se analiza su consumo. Se estima el lapso de obsolescencia tecnológica y duración física del producto. En esta fase se pueden identificar los siguientes pasos:

1. Producción Experimental
2. Definición detallada del proceso de fabricación definitiva
3. Diseño del empaque, almacenamiento y transporte del producto
4. Evaluación del producto y su proceso

### 4. Fase de Operación

Producción de manuales e instructivos del montaje, operación, mantenimiento y reparación del producto.

### 5. Fase de Evaluación

Seguimiento y control del producto y del proceso en el tiempo. Generación de ideas y recomendaciones para futuras modificaciones del producto y/o del proceso.

## El sistema de cubiertas de plástico SICUP

### 1. Descripción

El SICUP es un sistema industrializado de construcción de cubiertas y cerramientos formado por piezas estructurales de plástico reforzado con fibra de vidrio.

El diseño estructural corresponde a una bóveda constituida por láminas autoportantes en forma de secciones de bóvedas de 1/4 de circunferencia de 2,40 mts. de radio y 1,185 mts. de ancho, unidas por solape. Los distintos componentes del Sistema, y sus dimensiones se aprecian en la Figura 1.

El Sistema fue originalmente diseñado para viveros y puede ser empleado para otros usos agrícolas,

instalaciones de emergencia, pequeños y medianos galpones industriales y depósitos.

El Sistema fue desarrollado por el Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción (IDEC), adscrito a la Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Central de Venezuela. Dicho Sistema es comercializado por la empresa universitaria TECNIDEC S.A..

### Antecedentes

El SICUP es un producto de una línea de investigación y desarrollo tecnológico que parte de la hipótesis siguiente:

**Es posible utilizar los plásticos reforzados con fibra de vidrio en la construcción para elaborar componentes constructivos industrializados. Estos componentes pueden cumplir conjuntamente funciones estructurales y de cerramiento, ser livianos, autoventilantes y permitir eficientemente la iluminación y ventilación naturales.**

Esta línea de investigación se inició en el IDEC en 1978, y su primer producto lo constituyó el Sistema Constructivo denominado SIDEC 1, consistente en «un sistema de construcción capaz de simultáneamente techar y cerrar un área, rápida y fácilmente, a partir de piezas muy ligeras y resistentes totalmente terminadas en fábrica, las cuales conforman por sí mismas, una vez montadas, la estructura, techo y fachada, así como el sistema de iluminación y ventilación natural, todo ello en una sola operación» (3).

El segundo producto fue un sistema constructivo de fachadas y techos autoventilantes para viviendas unifamiliares de un sólo nivel, llamado SIDEC 2. Los componentes de este sistema fueron modificados para techar un vivero por solicitud de la Facultad de Agronomía de la UCV.

El resultado presentó fallas estructurales, pero resultó satisfactorio en relación a la posibilidad de cumplir con las condiciones ambientales necesarias para un vivero: radiación, temperatura y humedad.

### El Proceso del Desarrollo del SICUP

A continuación presentamos las fases que se cubrieron en el desarrollo del SICUP, siguiendo el esquema metodológico esquematizado anteriormente.

#### 1. Fase Conceptual

La necesidad fue planteada por un cliente: el Fondo Nacional del Café (FONCAFE), que tenía un problema a resolver: propagadores para el cultivo de cafetos resistentes a la roya. El cliente estaba en disposición a financiar su solución dentro de parámetros muy precisos: producir 24 viveros de Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV) de un área determinada y a un precio fijo por unidad.

El IDEC asume el compromiso de producirlos en función de su experiencia acumulada en la línea de investigación en PRFV, experiencia que le permite contar con personal especializado en el diseño y producción de componentes, la existencia de una planta experimental con la infraestructura necesaria para la producción, y la constatación previa de la factibilidad técnico-económica de la utilización del PRFV (4).

Es obvio que la motivación para aceptar la solicitud del cliente está constituida por la posibilidad de contar con el financiamiento para continuar el desarrollo de la línea de investigación planteada, este interés priva por sobre cualquier otro.

Se exploraron dos posibilidades de solución del problema:

1. Diseño de una estructura metálica con cubiertas de polietileno.
2. Diseño de una «piel autoportante» en PRFV.

Conjuntamente se efectuó un proceso de documentación para precisar los problemas de la producción de viveros: dimensiones y exigencias ambientales.

Se evaluaron las opciones y se escogió la segunda para ser desarrollada.

#### 2. Fase de Definición

Esta fase se limitó al diseño del producto, asumiendo el diseño de la línea de producción empleada para el SIDEC

Los criterios básicos de diseño del producto fueron los siguientes:

1. Aprovechar las características del material: resistencia, moldeabilidad, bajo peso, para lograr una estructura autoportante con una relación de peso / área cubierta muy baja.
2. Utilización de la bóveda de medio cañón como forma estructural, cuyo funcionamiento está suficientemente probado desde épocas muy antiguas y que permite una aceptable resistencia estructural con láminas muy delgadas. A lo anterior se une la ventaja que ofrece la sucesión de secciones idénticas de bóvedas para el crecimiento longitudinal.
3. Los componentes del Sistema debían ser fácilmente transportables y manipulables, exigiéndose a la vez que su almacenamiento ocupara poco espacio.
4. El montaje de los componentes debe poder ser realizado con rapidez y por mano de obra no calificada.

La solución planteada constituyó un avance respecto al sistema SIDEC 1, pues a diferencia de éste, donde los componentes de estructura y cerramientos son diferentes, en el SICUP 1 los componentes cubren ambas funciones simultáneamente.

No debe pensarse que el producto final del proceso de diseño fue resultado lineal de las primeras ideas, estuvo sometido a un proceso continuo de correcciones hasta llegar al diseño definitivo. Uno de los inconvenientes para describir el proceso mediante el cual se llegó al diseño final proviene de la ausencia de un registro sistemático de las diferentes opciones de diseño que se barajaron. A estas alturas esto no se podría reconstruir sino mediante un trabajo especial dedicado a ese aspecto por demás complejo.

Paralelamente al proceso de diseño del producto final, se utilizó el vivero constituido con las piezas modificadas del SICUP, para hacer mediciones de temperatura y humedad que se utilizaron como insumos para el diseño.

Luego de proyectadas varias opciones, se construyeron modelos de las piezas a pequeña escala.

Producto de ello se efectuaron modificaciones en la geometría de las mismas hasta llegar a la fabricación de moldes a escala natural de cada una. A estos moldes también se le efectuaron modificaciones hasta obtener los definitivos.

Conjuntamente, se fueron diseñando las formas de amarre de las piezas entre sí. Y para resolver problemas de fragilidad estructural, de altura interna del vivero y de costos, se ideó un muro perimetral en bloques de concreto que servirían de apoyo de las piezas de PRFV.

Una vez definidos los componentes del sistema y su forma de unión, fueron sometidos a pruebas de carga e impactos. Se construyó un prototipo, el cual puso en evidencia lo eficaz de la solución incluido su proceso de montaje, adoptándose sin modificaciones como producto final.

Se pasó a la producción de 24 viveros asumiendo sin modificaciones -como ya señalamos-, la línea de producción existente en el taller de PRFV de la Planta Experimental del IDEC.

### 3. Fase de Producción

De la información recogida del testimonio de quien fuera responsable del Proyecto, el Arq. Alejandro Calvo, se desprende que en la construcción del prototipo se tomaron datos de producción, fundamentalmente mediciones del tiempo de manufactura de las piezas y del consumo de materiales. Sin embargo, hasta donde sabemos, durante la producción de los 24 viveros no se llevó registro detallado de la producción.

La producción de los 24 viveros no puede calificarse totalmente como una producción piloto o producción pre-industrial, pues no se llevó a cabo durante su desarrollo una experimentación de formas de producción con sus evaluaciones y modificaciones en función del análisis riguroso de lo que iba ocurriendo. Sin embargo, la experiencia acumulada, aún cuando no fue registrada sistemáticamente, sino fragmentariamente, sirvió de base para un estudio posterior del proceso de producción que condujo a un diseño mejorado de dicho proceso de producción. Este estudio se basó en la organización del proceso en base a operaciones en estaciones de producción, cambiando el concepto anterior de «producto

fijo» por el de «línea de producción» (5).

Existe un estudio pormenorizado de viabilidad económica a escala industrial (6). Este estudio establece que se puede pasar a la producción masiva y que, debido al resultado satisfactorio en los aspectos de producción con el nuevo diseño del proceso de producción, los principales esfuerzos deberían concentrarse en las áreas administrativa y comercial. Este estudio implicó un ajuste en los precios del producto que habían sido asumidos en la producción a pequeña escala que se llevó a cabo.

Las exigencias del producto en relación al diseño del empaque, almacenamiento y transporte estaban implícitas en los criterios de diseño. Su resultado, al ser satisfactorio, hizo innecesarias nuevas correcciones referidas a este aspecto.

El Sistema se sigue produciendo a pequeña escala contra pedidos. Además de la construcción de viveros, sus componentes han sido utilizados como cubiertas y cerramientos de fachada de otras edificaciones.

### 4. Fase de Operación

Como ya mencionamos, el diseño del SICUP tuvo como criterio básico la rapidez en el montaje por mano de obra no calificada. Para ello se diseñó un manual con las instrucciones necesarias. Este instructivo de montaje se vende como parte del producto e incluye: forma de transporte y almacenaje, recomendaciones generales, secuencia de ensamblaje, mano de obra y equipos necesarios. Incluye también recomendaciones para el mantenimiento de la edificación. Es interesante destacar que hasta el momento, los clientes han preferido la compra del producto incluyendo su instalación en sitio, a pesar de la facilidad del montaje del sistema.

### 5. Fase de Evaluación

La aplicación del SICUP 1 como vivero ha demostrado ser eficiente. Los usuarios han reportado mejoras significativas y a costos aceptables en el cultivo controlado de las especies vegetales que han efectuado en su interior. Estos mismos usuarios califican la edificación construida con el SICUP 1, como un local especializado, intermedio entre el laboratorio propiamente dicho y la siembra en el campo.

El seguimiento efectuado a los viveros comercializados, han constatado que el tiempo y la intemperie originan erosión superficial de la resina y el afloramiento de la fibra de vidrio y con ello, obviamente, el deterioro de la edificación y la pérdida de luminosidad interior. Estos problemas han logrado disminuirse por las mejoras que se han alcanzado en la producción industrial de las resinas y por los ensayos propios efectuados en la dosificación resina-fibra para la construcción de los componentes.

El Sistema ha sido sometido a pruebas térmicas para determinar la temperatura interior de los locales. De estas pruebas se han derivado recomendaciones relativas a el color de los componentes y a las formas más adecuadas de ventilación mecánica de los locales.

A raíz de los últimos estudios y de la experiencia adquirida, se han diseñado modificaciones en los componentes del Sistema para adaptarlo a otros usos. Ello ha dado lugar al SICUP 2, diferente al anterior en las dimensiones de las bóvedas y en el apoyo directo de los componentes al piso, esta variante no ha sido utilizada.

La otra variante del sistema, la denominada SICUP 3, fue diseñada y producida a solicitud expresa de la Armada Venezolana para la construcción de un puesto militar fronterizo. Las características del sistema inicial hicieron atractiva su aplicación: facilidad de transporte aéreo de sus componentes por su forma de almacenaje y poco peso, y la rapidez en el montaje. Para satisfacer las nuevas exigencias de uso, los componentes iniciales fueron modificados hasta alcanzar mayores luces y altura interior de las edificaciones.

A excepción de las pruebas y evaluaciones que se han realizado al sistema, hay un ámbito de comportamiento del mismo que requerirá del transcurso de un tiempo mayor para poder demostrar que la composición físico-química de las piezas y el mantenimiento adoptado garantizan una durabilidad adecuada y competitiva frente a otras opciones que ofrece el mercado.

#### **Consideraciones Finales**

El análisis del desarrollo del SICUP ratifica cómo el proceso que va entre la identificación de una necesidad,

hasta el diseño de una producción industrial, no es lineal, es más bien un proceso de interacción constante. De igual manera, aunque la secuencia de las fases no es indiferente, ellas se solapan y retroalimentan mutuamente. Una falla en uno de los pasos o un salto entre ellos ocasiona errores que se manifiestan posteriormente.

Se hace manifiesto que el proceso de diseño de tecnología no parte de cero, ni es producto de una inspiración alejada a la experiencia acumulada, a otras investigaciones propias o ajena, a soluciones similares adoptadas por otros investigadores y diseñadores, etc. La producción de tecnología es el resultado de la confluencia organizada de estos y otros factores, como lo han puesto en evidencia diferentes autores (7).

Uno de los problemas que se pueden identificar en el desarrollo del SICUP 1, desde el punto de vista de la metodología de investigación y desarrollo, es la ausencia de un registro sistemático de los pasos y decisiones a lo largo de su desarrollo. Al contar fundamentalmente con el resultado final, se dificulta la reconstrucción del proceso, y con ello la posibilidad de evitar futuros errores, de trillar los mismos caminos o derivar nuevas líneas de las opciones desechadas. En este mismo sentido, la falta de un registro sistemático de tiempo, costos, cantidades, actividades, operaciones, etc., del proceso de producción trajo inconvenientes a la hora de realizar los estudios de producción y viabilidad económica del proyecto. Sin embargo, la realización de estos estudios obligó a sistematizar muchos de los elementos cuyo registro se había descuidado anteriormente.

Así como son imprescindibles los prototipos del producto y sus evaluaciones, se requiere de un prototipo del proceso de producción o producción piloto, lo que implica un mecanismo de control y modificaciones hasta adecuarlo a los resultados más convenientes. Como se indicó, este proceso se llevó a cabo después de las primeras aplicaciones del SICUP 1, lo cual ha permitido un mejoramiento del proceso. Actualmente se está en condiciones de ofrecer a quien esté interesado en su producción industrial de un «paquete tecnológico» completo.