

ARTEMISA: UN SISTEMA DE AYUDA A LA PROGRAMACION EN UNA EMPRESA DEL SECTOR DEL AUTOMOVIL

JOAQUIN BAUTISTA
RAMON COMPANYS
ALBERT COROMINAS

LABORATORIO DE ORGANIZACION DE LA PRODUCCION
DEPARTAMENTO DE ORGANIZACION DE EMPRESAS
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CATALUÑA

Resumen

El sistema **Artemisa** tiene por objetivo ayudar en la obtención del programa diario de fabricación en una compañía del sector del automóvil. Artemisa parte de un plan de producción mensual y determina unas producciones diarias lo más «cercanas» posible a unos valores de referencia (valores ideales) dados, teniendo en cuenta: (1) restricciones que involucran a familias de vehículos y (2) prohibiciones individualizadas de algunos modelos en ciertos períodos. Los procedimientos utilizados para ello son, esencialmente, heurísticos; algunos de ellos están basados en la programación lineal.

I. Introducción

Muchas compañías, entre las que destacan las dedicadas a la fabricación de automóviles o electrodomésticos, ofrecen una amplia gama de productos que resultan de la combinación de un conjunto de partes funcionales que denominaremos *módulos*; en ellas, el sistema productivo presenta normalmente en su fase final una línea de montaje. Los problemas de planificación y de programación (Companyys y Corominas, 1995) propios de estas empresas pueden formalizarse, fácilmente, utilizando modelos matemáticos; estos modelos se pueden manipular, posteriormente, con técnicas cercanas a la programación lineal o con procedimientos heurísticos,

tanto para la obtención del *plan maestro de producción* como para la *planificación detallada*, la *programación* y la *secuenciación* de unidades en la línea de montaje.

Los autores han tenido la oportunidad de utilizar un mismo esquema en varios proyectos realizados en el marco de la *modularidad* (Companyys, 1989), vocablo que empleamos para nominar cierto enfoque sobre la visión que se tiene del producto y al conjunto de conceptos y procedimientos que permiten manipular la variedad del producto de una manera eficiente. Gracias a estos trabajos, ha sido posible el desarrollo de una metodología, que denominamos **POUM** (Programación Óptima de Unidades Modulares), como síntesis de diferentes aspectos (Companyys, Bautista y Angás, 1988). Una de las realizaciones concretas ligada a dicha metodología es el sistema **ARTEMISA**, desarrollado para ayudar a la obtención del *programa diario de fabricación* en una compañía del sector del automóvil.

El presente texto describe sucintamente algunos aspectos del proyecto desarrollado, y se ha estructurado de la siguiente forma: en §2 se presenta el problema que se planteó; sigue a este punto la descripción de los elementos más importantes que condujeron a la concepción de ARTEMISA; en §3 se ofrece una visión modular del producto, §4 se dedica a las restricciones del sistema productivo, en

§5 se presenta cierto tipo de limitaciones de fabricación que presentan algunos productos y en §6 se enumeran algunos criterios de selección de programas de producción; a continuación, en §7 se exponen las funciones más significativas del sistema; y, finalmente, en §8 se describen las realizaciones y posibles desarrollos futuros.

2. El problema

Una empresa del sector de automoción debía determinar la fabricación diaria de productos (de manera automática para agilizar los cálculos y así evitar el retraso de importantes decisiones en caso de posibles incidencias) a partir de unas cantidades mensuales previamente establecidas. El resultado de esta deseada distribución de órdenes en el tiempo debía constituir un *programa de producción a nivel diario* que, tras la secuenciación de modelos en la línea y la explosión con ayuda de la lista de materiales, sirviera para concretar un *programa de aprovisionamiento*, también, a nivel diario (condición necesaria para alcanzar una gestión JIT).

Inicialmente, dicho *programa diario* se realizaba de forma manual, ello precisaba varios días con el temor de haber introducido errores (la mayoría aritméticos) y de que se produjeran posibles incidencias que exigieran modificaciones y obligaran a reprogramar urgentemente antes de fin de mes. Por estas razones, los responsables de la programación deseaban un sistema de ayuda soportado por microordenador que aliviase estos trabajos y conseguir, además, una reducción considerable del tiempo empleado.

El programa de producción diario, obtenido a partir de unas cantidades de cada artículo requeridas a lo largo de un mes, debía estar en perfecto acuerdo con las limitaciones del sistema productivo y con un conjunto de reglas de fabricación, por lo que era obligado que el programa hallado cumpliera con una serie de requisitos:

- Algunas clases de vehículos tenían limitada su producción diaria. Se exigía, por tanto, que la propuesta de fabricación por día para dichas clases no superara los límites establecidos; lo que daba lugar a un conjunto de *restricciones* formalizables mediante inecuaciones lineales.
- Algunos vehículos no se podían fabricar, o no convenía fabricarlos, ciertos días o períodos del mes; a este tipo de limitación se le denominó *inhibición*, dando lugar en el modelo a una serie de variables booleanas.
- Finalmente, el programa diario debía ser *equilibrado*: era preciso que la fabricación propuesta fuera lo más *regular* posible, que las cantidades a

producir de cada vehículo, durante los períodos permitidos, fueran lo más parecidas posible; este *criterio* se puede formalizar por medio de una función objetivo que exprese las discrepancias entre las producciones ideales y las producciones reales; se pretende, claro está, la minimización de dicha función.

3. Visión modular del producto

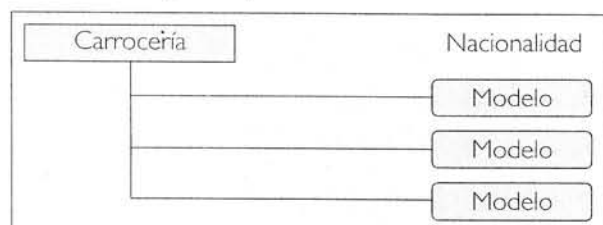
Nuestra definición de los datos se basó en la traducción formalizada de la *visión* que los usuarios tenían sobre los productos, pues el sistema ARTEMISA debía ser utilizado (y así resultó en la realidad) por las mismas personas que desarrollaban, con anterioridad, las funciones comprendidas más tarde en el mismo. ARTEMISA fue concebido con la idea de ayudar en el trabajo y no substituir a las personas encargadas; por ello, cualquier rechazo inicial, producido por la incomprensión de qué objetos se manipulaban, hubiera conducido, irremediablemente, al fracaso e inutilidad del sistema. A pesar del cuidado mantenido en este tema, cuando los usuarios se enfrentaron a la formalización de su lenguaje, fueron necesarias varias horas de explicación y reflexión en común para conseguir la total asimilación de conceptos que, una vez dominados, permitieron la utilización del sistema con gran flexibilidad.

Para el caso que nos ocupa, un producto (carrocería-color) está constituido por dos *módulos*: (1) el módulo carrocería y (2) el módulo color. Cada uno de ellos posee ciertas *características* (en el caso presente, tres y dos, respectivamente) a las que están asociados dos valores cuyo significado depende, en cada caso, de la característica en cuestión; también, cada módulo puede estar asociado a un cierto número de *atributos*.

En nuestro ideario, las características están ligadas a las necesidades de *recursos críticos*; de manera que dos productos que presentan el mismo valor en una característica determinada tienen la misma necesidad de consumo del subconjunto de recursos asociado a ella. En tales condiciones, podrá decirse que, desde el punto de vista de los recursos de fabricación, dos productos que presenten idénticos valores en todas sus características son *intercambiables* (*principio de intercambiabilidad*). Por su parte, los atributos sirven, en nuestro marco conceptual, para definir subconjuntos de productos atendiendo a restricciones o condiciones no ligadas a recursos materiales (conceptos intangibles). Si dos productos son intercambiables (según el principio anterior) y, además, presentan los mismos valores en todos sus atributos, diremos, entonces, que son *indistinguibles* desde el punto de vista de producción (*principio de imperceptibilidad*).

Como se dijo anteriormente, los productos resultan de la combinación de dos módulos: carrocería y color; de manera que, si el número de carrocerías distintas (instancias-carrocería) es 50 y el de colores (instancias-color) 12, el número de productos potencialmente distintos es igual a 600, si bien en un plan de producción no figuran normalmente todos ellos.

El módulo carrocería está asociado a 3 características: modelo, tamaño y guía; y a un solo atributo: la nacionalidad (ver E1).

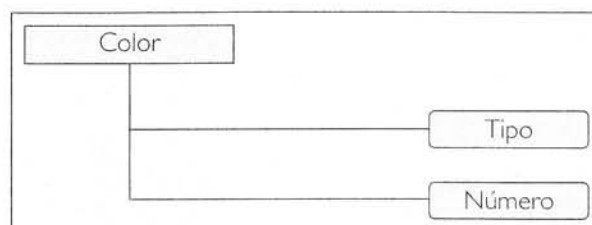


E1. ESQUEMA DEL MÓDULO CARROCERIA

Por su parte, el módulo color está asociado a 2 características: tipo y número; y a ningún atributo (ver E2).

En el sistema Artemisa, las características sólo adoptan dos valores, tal como se muestra en la **Tabla-1**.

Cada instancia del módulo carrocería está asociada a un juego concreto de valores de las tres características asociadas y a un valor concreto del atributo



E2. ESQUEMA DEL MÓDULO COLOR

nacionalidad. Análogamente, cada instancia del módulo color está asociada a una pareja de valores concretos de sus características. En definitiva, un producto concreto está asociado a los valores de las características y de los atributos de sus módulos componentes.

Las combinaciones de valores de las características permiten clasificar todos los productos en clases (en el caso presente existen 32 clases potenciales), dichas clases reciben el nombre de *familias* de productos.

La clasificación de los productos en familias es inmediata una vez que se han dado los valores concretos de las características que el producto tiene. Por ejemplo, a la familia F01 pertenecen aquellos productos cuyas características tomen los valores [1,1,1,1,1], a la F02 los valores [1,1,1,1,2], y así, sucesivamente, a la F32 los valores [2,2,2,2,2] (ver **Tabla-2**).

Característica	car.1 Modelo	car.2 Tamaño	car.3 Guía	car.4. Tipo	car.5 Número
Valor-1	cástor	corto	izquierda	pastel	monocolor
Valor-2	póllux	largo	derecha	metálico	bicolor

TABLA 1. VALORES DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS MÓDULOS EN EL SISTEMA ARTEMISA.

Clase	c1	c2	c3	c4	c5	Clase	c1	c2	c3	c4	c5
F01	1	1	1	1	1	F17	2	1	1	1	1
F02	1	1	1	1	2	F18	2	1	1	1	2
F03	1	1	1	2	1	F19	2	1	1	2	1
F04	1	1	1	2	2	F20	2	1	1	2	2
F05	1	1	2	1	1	F21	2	1	2	1	1
F06	1	1	2	1	2	F22	2	1	2	1	2
F07	1	1	2	2	1	F23	2	1	2	2	1
F08	1	1	2	2	2	F24	2	1	2	2	2
F09	1	2	1	1	1	F25	2	2	1	1	1
F10	1	2	1	1	2	F26	2	2	1	1	2
F11	1	2	1	2	1	F27	2	2	1	2	1
F12	1	2	1	2	2	F28	2	2	1	2	2
F13	1	2	2	1	1	F29	2	2	2	1	1
F14	1	2	2	1	2	F30	2	2	2	1	2
F15	1	2	2	2	1	F31	2	2	2	2	1
F16	1	2	2	2	2	F32	2	2	2	2	2

TABLA 2. VALORES DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS PRODUCTOS INTEGRADOS EN FAMILIAS.

Para obtener los datos correspondientes a las familias bastará, en primer lugar, concretar los valores de las características y atributos de cada producto y, seguidamente, agregar los datos según la clasificación en familias.

Las restricciones afectan a conjuntos de familias de productos, mientras que las inhibiciones afectan a los productos aisladamente o a agrupaciones de los mismos que no tienen que coincidir necesariamente con las familias.

4. Las Restricciones

Las restricciones vienen impuestas por las limitaciones productivas, afectan como dijimos a conjuntos de familias, y deben formalizar enunciados del tipo:

- e1. *El montaje diario de productos del tipo castor_largos no debe superar las 92 unidades.*
- e2. *El número de productos metalizados_bicolor no debe superar las 48 unidades diarias.*

Ello implica la definición para cada restricción de dos aspectos, a saber: (1) las familias de productos afectadas y (2) el límite de producción diaria correspondiente. Para cada restricción, se define el primer aspecto indicando los valores de cada una de las características afectadas. Dada la lógica binaria utilizada, las clases afectadas se pueden determinar mediante la combinación de 5 índices (uno para cada característica) que pueden adoptar los tres valores siguientes:

- F:** Si se considera que los productos sometidos a la restricción son los que poseen el primer valor de la característica.
- S:** Si se considera que los productos sometidos a la restricción son los que poseen el segundo valor de la característica.
- B:** Si se considera que los productos sometidos a la restricción son los que poseen cualquiera de los dos valores de la característica.

Por ejemplo, al enunciado **e1** corresponde el quinteto de índices siguiente:

F - S - B - B - B

quedando implicadas, en la restricción, todas las familias del tipo:

I - 2 - * - * - *

Al enunciado **e2** corresponde el quinteto de índices:

B - B - B - S - S

quedando implicadas, en una segunda restricción, todas las clases del tipo:

* - * - * - 2 - 2

El límite diario de una restricción, que por su naturaleza posee mayor volatilidad, se comunica al sistema en cada explotación, asociando a la restricción el valor que se considere oportuno.

Volviendo de nuevo a nuestros ejemplos de enunciados, éstos adoptarían unas estructuras algebraicas tales como las que siguen:

$$\mathbf{R.e1:} \quad X_{09} + X_{10} + X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} + X_{16} \leq 92$$

$$\mathbf{R.e2:} \quad X_{04} + X_{08} + X_{12} + X_{16} + X_{20} + X_{24} + X_{28} + X_{32} \leq 48$$

donde X_{01} a X_{32} son las variables que indican la producción diaria de cada clase.

De esta forma se pueden definir hasta $3^5 = 243$ restricciones diferentes, que son justamente las que tienen sentido en nuestro problema, sobre un total de $2^{32}-1$ teóricamente formulables con las 32 clases.

5. Las inhibiciones

Las inhibiciones (una forma especial de limitación) traducen la posibilidad o imposibilidad de fabricar un determinado producto en un día del mes concreto. Normalmente, son condiciones a nivel de producto y no a nivel de clase como las restricciones, aunque, como es lógico, existe una interrelación entre clase y producto que, como es natural, es considerada por el sistema. Formalmente, el sistema construye una tabla (véase **Tabla-3**) de dimensiones productos días con elementos cuyos valores son 0 (si la producción no es posible) o 1 (si lo es). Para asistir en la comunicación entre el usuario y el sistema en la definición de las inhibiciones, aquél puede seleccionar subconjuntos de productos de acuerdo con los siguientes conceptos:

- Un producto concreto
- Una instancia de carrocería
- Una instancia de color
- Un valor de nacionalidad
- Cualquier combinación de los conceptos anteriores

También, y de nuevo para facilitar la comunicación antes referida, el usuario puede definir, para todos los elementos del subconjunto, la inhibición (prohibición) dentro de un cierto intervalo temporal. Para ello, se introducen los instantes de inicio y de finalización de la inhibición, admitiéndose hasta un máximo de cuatro interrupciones por inhibición establecida.

6. Criterios de selección de planes diarios

Normalmente, para un día y a nivel clase, existirán varios juegos de valores que satisfagan las restriccio-

Producto				Inhibiciones					
carroc.	color	país	clase	día-01	día-02	día-03	día-20
AB12	10A	SP	01						
AB12	10B	SP	01						
AB12	13C	SP	02						
AB12	16B	SP	03						
AB25	10A	IT	01						
AB25	13C	IT	02						
AB37	10B	FR	01						
AB37	16B	FR	03						
EF18	10A	SP	09						
EF23	10A	IT	09						
EF23	13C	IT	10						
IJ15	10B	UK	05					0	0
IJ18	10B	IR	05	0	0	0	0		
IK13	13C	UK	14					0	0
IK19	16C	IR	15	0	0	0	0		
PQ11	10A	SP	17						
PQ11	10B	SP	17						
ST18	13C	IT	26						
WX10	10B	UK	23					0	0
WX12	10B	IR	23	0	0	0	0		

TABLA 3. EJEMPLO DE TABLA DE INHIBICIONES PARA UN CONJUNTO REDUCIDO DE PRODUCTOS.

nes; tras ello, las cantidades propuestas para cada familia de productos se pueden repartir entre sus componentes, respetando, claro está, las inhibiciones.

Sin embargo, todas las soluciones posibles no serán igualmente satisfactorias a los ojos del planificador; el cual tendrá en mente un *plan ideal*, y deseará que el plan factible elegido (en caso de que el plan ideal no sea factible) sea lo más parecido posible a dicho plan ideal. Este concepto de «proximidad» entre planes es el que se toma como criterio de selección; no obstante, no resulta sencillo medir la «distancia» entre dos planes y plantearse como objetivo la reducción al mínimo de la misma, puesto que el concepto de proximidad o similitud entre dos planes no está exento de ambigüedad.

Algunos supuestos que hemos utilizado en realizaciones prácticas nos conducen a un procedimiento (véase **figura-1**) basado en las siguientes pautas:

Paso-1: Dado el plan ideal, en cantidades de productos, proceder a la agregación de las mismas para disponer del plan ideal en número de unidades por familia; sean: Y01, Y02, ..., Y32.

Paso-2: Determinar los valores del plan factible que, satisfaciendo las limitaciones de recur-

sos productivos, den una suma de diferencias, en más o en menos, mínima respecto a los valores ideales; es decir, se trata de minimizar: $Z = |X-Y|$ (distancia entre lo real y lo ideal)

La distancia entre el punto de producción ideal (Y01, Y02, ..., Y32) y el punto de producción real (X01, X02, ..., X32) puede ser la rectangular, la euclídea o la cuadrática, entre otras.

En ocasiones, será necesario añadir algún condicionante relativo al volumen global de producción.

Paso-3: Repartir (o desagregar) las cantidades obtenidas para las familias entre los productos en forma aproximadamente proporcional a las cantidades ideales de éstos¹.

Para la realización del *paso-2* se emplearon técnicas basadas en la programación lineal, dada la linealidad de las restricciones y a la posibilidad de linealizar la función objetivo.

La programación lineal no conduce, en general, a planes factibles cuya distancia al plan ideal posea todas las características, de mínima, deseables en la realidad; sin embargo, se trata de una técnica robusta, profundamente estudiada, para la que existen paquetes de logical, para ordenadores y micro-

ordenadores, rápidos y cómodos de utilizar. La adopción de otro tipo de función, distinta a la rectangular, como la suma de distancias cuadráticas, puede conducir, sobre el papel, a planes factibles más cercanos al ideal; no obstante, las técnicas requeridas para resolver óptimamente este tipo de problemas no están tan a punto, sobre todo si es preceptivo que las variables que intervienen en el modelo (cantidades de vehículos) deban adoptar valores enteros, por lo que es preciso recurrir a procedimientos heurísticos.

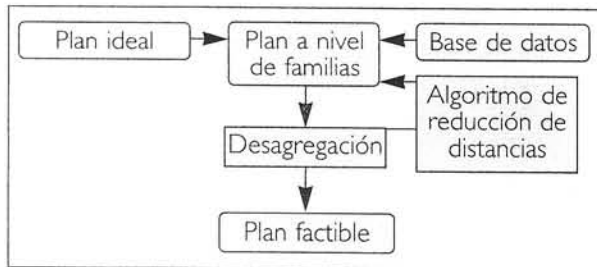


FIGURA 1. ESQUEMA DEL PROCEDIMIENTO PARA "ACERCAR" PLANES.

7. Funciones del sistema

A grandes rasgos, las funciones incorporadas al sistema ARTEMISA son las siguientes:

1. *Gestión de productos*: Se incluyen aquí las altas, bajas, consultas, modificaciones y listados tanto para los datos correspondientes al módulo carrocería como los del módulo color. Para cada uno de los módulos de datos, se tiene, además del campo referente al código identificativo, aquéllos que contienen los valores de las características y atributos (en su caso) propias del módulo (Bautista y Angás, 1990).

2. *Gestión de restricciones*: Incluye las altas, bajas, consultas, modificaciones y listados correspondientes a las restricciones que el usuario define. El alta de una restricción supone concretar los valores para los cinco índices (tal como se indicó en §4) que definen el subconjunto de productos (también el conjunto de clases) afectados por la limitación en cuestión. Seguidamente, como es lógico, se solicita el término independiente de la restricción que actúa siempre como límite superior de la producción conjunta de las clases afectadas.

3. *Gestión de inhibiciones*: Incluye las altas y consultas de las inhibiciones según los conceptos indicados en §5. Por supuesto, en caso de que el usuario desee desactivar una inhibición existente, puede recurrir a la desinhibición total o parcial de los productos previamente afectados.

4. *Gestión del plan global*: El usuario puede recurrir a tres vías alternativas para seleccionar los productos que deben intervenir en el *programa diario*, indi-

cando o capturando las cantidades globales que deben realizarse en el plazo establecido (por ejemplo, un mes); estas vías son:

- Introducción manual, haciendo referencia al número o código del producto e indicando la cantidad total a programar.
- Captura de los datos procedentes del ordenador central que contienen los códigos de carrocerías y de colores y la producción mensual solicitada, así como un conjunto de campos que servirán para la posterior identificación temporal de los datos por el ordenador central. Por supuesto, los códigos no existentes en la base de productos que controla directamente ARTEMISA son rechazados, y se invita, entonces, al usuario a darlos de alta a fin de que la lectura sea del todo correcta.
- Captura de los datos procedentes de OPEN ACCESS. El proceso de verificación y aceptación es similar al anterior.

Tras adoptar cualquiera de las tres alternativas anteriores, queda definido un plan global de producción que, en cualquier caso, se puede modificar utilizando la primera opción.

Por otra parte, el sistema permite, también, verificar, parcialmente, el plan global. Para ello, deben estar a punto las restricciones a nivel clase y conocerse el número de días del plan diario de producción. El sistema detecta qué restricciones no se cumplen globalmente, por lo que no puede afirmarse que sea posible hallar un programa diario completo.

5. *Programación diaria*: La programación propone las unidades de productos que deben fabricarse cada día. La determinación de estas cantidades se realiza día por día mediante un procedimiento sujeto a dos niveles de decisión:

- Nivel clase, mediante algoritmos basados en la programación lineal y/o algoritmos heurísticos.
- Nivel producto, mediante algoritmos heurísticos a partir de los resultados del nivel anterior.

Por consiguiente, el procedimiento es, en conjunto, heurístico.

El criterio difuso que se intenta satisfacer es la regularidad de la producción, dentro del mes, de cada producto, salvo que no haya más remedio que aceptar las variaciones que producen las restricciones e inhibiciones requeridas en la solución. Más arriba, en §6, ya se indicó la manera de formalizar y proceder para satisfacer dicho criterio, por lo que no insistiremos más sobre este punto.

Por otra parte, el sistema permite, también, la verificación (día a día) de un plan diario introducido por

el usuario o procedente del ordenador central o del OPEN ACCESS. Para ello, deben estar a punto las restricciones a nivel clase e inhibiciones diarias de atributos y/o instancias modulares. El sistema detecta qué restricciones no se cumplen en un determinado día y qué inhibiciones son violadas.

6. *Gestión de incidencias:* Se incluyen aquí todas las funciones y manipulaciones de datos necesarias antes de realizar una reprogramación. Esencialmente, cuando lo realizado no coincide con lo programado, se debe indicar en qué días se completó la producción prevista y qué productos, con sus cantidades correspondiente, se fabricaron durante el día en que surgió la incidencia. Tras ello, queda definido un plan pendiente que puede enviarse, para su tratamiento, al procesador de planes.

7. *Gestión de resultados:* Una vez determinado el programa diario de producción puede ser visualizado por el usuario y/o enviado al ordenador central en forma de fichero y/o traducido al formato DIF para ser interpretado por el OPEN ACCESS. La **Tabla-4** muestra un ejemplo reducido del aspecto que presenta un programa de producción.

Hasta aquí se ha dado una visión funcional de ARTEMISA, para adquirir una idea global de las interrelaciones entre funciones y datos se puede consultar la **figura-2**.

8. Realizaciones y Extensiones

Para la realización del sistema ARTEMISA se emplearon los lenguajes: CLIPPER (para los programas que componen la gestión de la base datos y el generador de restricciones) y QUICK BASIC (para los programas de cálculo en los que se incluyen las heurísticas de programación y de reparto, un algoritmo simplex que determina día a día el programa de producción a nivel clase, y los programa de comunicaciones).

ARTEMISA funcionó por primera vez sobre un ordenador personal IBM PC-AT con la siguiente configuración mínima: 640 Kb de RAM, disco duro de 10 Mb, unidad de floppy disk y coprocesador matemático 80287. El conjunto de procedimientos tenía una dimensión de 1 Mbyte, e incluyendo la base de datos, la dimensión era del orden de 2 Mbytes.

Producto				Inhibiciones						
carroc.	color	país	clase	día-01	día-02	día-03	día-20	Total
AB12	10A	SP	01	5	5	5	5	4	4	90
AB12	10B	SP	01	3	3	3	3	3	3	60
AB12	13C	SP	02	2	2	2	2	2	2	40
AB12	16B	SP	03	2	3	2	3	2	2	45
AB25	10A	IT	01	2	2	2	2	2	3	48
AB25	13C	IT	02	2	2	2	2	1	1	35
AB37	10B	FR	01	2	2	2	2	3	2	32
AB37	16B	FR	03	3	3	3	3	2	2	44
EF18	10A	SP	09	4	3	4	3	4	4	70
EF23	10A	IT	09	1	1	1	1	2	2	24
EF23	13C	IT	10	1	1	1	1	2	2	15
IJ15	10B	UK	05	2	2	2	2	0	0	20
IJ18	10B	IR	05	0	0	0	0	3	3	25
IK13	13C	UK	14	1	1	1	1	0	0	11
IK19	16C	IR	15	0	0	0	0	1	1	12
PQ11	10A	SP	17	2	3	2	3	2	2	64
PQ11	10B	SP	17	2	2	2	2	2	2	56
ST18	13C	IT	26	1	1	1	1	1	1	23
WX10	10B	UK	23	2	1	2	1	0	0	14
WX12	10B	IR	23	0	0	0	0	1	1	12
			Total:	37	37	37	37	37	37	740

TABLA 4. EJEMPLO DE PROGRAMA DE PRODUCCION DADO POR ARTEMISA.

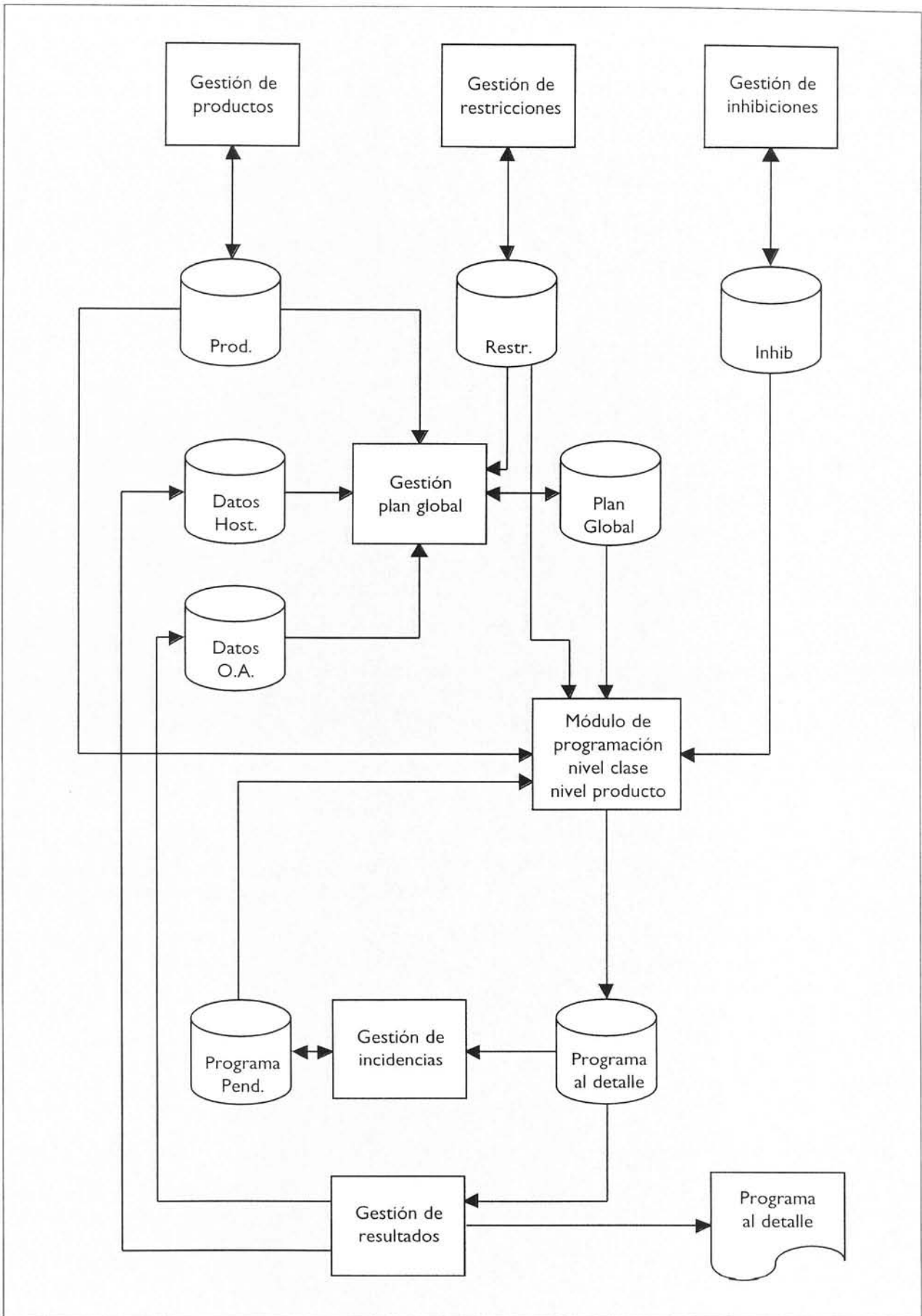


FIGURA 2. DIAGRAMA DE PROCESOS ARTEMISA.

La primera versión del sistema destinada a vehículos ligeros empezó a dar los primeros resultados en la empresa patrocinadora en el año 1987, para su realización fueron necesarios seis meses de trabajo en el marco de un convenio de colaboración entre la Universidad y la empresa destinataria. Dicha versión permitía obtener un programa diario de producción, tras la captura de datos del ordenador central, en menos de veinte minutos para un horizonte de 20 a 30 días de trabajo, una base compuesta por más de 300 vehículos distintos y para una producción mensual de unas 20000 unidades; los resultados eran enviados inmediatamente al ordenador central encargado de ejecutar la explosión de materiales. En contraposición, el sistema anterior, básicamente manual, requería el trabajo de una persona durante tres o cuatro días para clasificar, definir las cantidades a producir y comprobar el cumplimiento de las restricciones que no siempre eran satisfechas en su totalidad; otro inconveniente era que este procedimiento requería un riguroso proceso de verificación ante la posibilidad de cometer errores aritméticos, los cuales eran comprensibles ante las dimensiones del problema; tras dichos cálculos, se introducían los datos del programa de producción en OPEN ACCESS y posteriormente eran enviados al ordenador central. Aparte de la reducción substancial de tiempos, los resultados ofrecidos por ARTEMISA sintonizaban mejor que los obtenidos manualmente con el concepto de regularidad de la producción, gracias a la minimización de la función de no regularidad incorporada al sistema que facilitaba además la satisfacción de todas las restricciones. Finalmente, la reprogramación ante incidencias dejó de ser un problema: el nuevo programa de producción se obtenía en el mismo día, incluso era posible determinar y valorar un conjunto de programas bajo varios supuestos.

Los éxitos de la primera versión propiciaron que, en la primavera de 1988, se realizara una adaptación para vehículos pesados, dando resultados

igualmente satisfactorios. Posteriormente, se fueron añadiendo una serie de ampliaciones solicitadas por los usuarios, siempre ligadas a facilitar la gestión de los datos y a abrir nuevas vías de comunicación con otros sistemas.

Actualmente, los autores están trabajando en la extensión de la algorítmica del sistema, diseñando y ensayando un conjunto de procedimientos (fundamentalmente para funciones objetivo basadas en distancias cuadráticas entre producciones y, también, entre fechas de fabricación) estrechamente ligados a los de los problemas de secuenciación de unidades en contexto JIT.

Bibliografía

BAUTISTA, Joaquín; ANGÁS, Francisco. «Computer Assisted Planning and Scheduling: ARTEMISA», en R.Companys, P.Falster & J.L.Burbidge eds. *Databases for Production Management*, NORTH-HOLLAND, 1990, 263.

COMPANYS, Ramón; BAUTISTA, Joaquín; ANGÁS, Francisco. «Optimum Planning of Modular Units (POUM)»; EUROTIMS CONFERENCE, París, Julio de 1988.

COMPANYS, Ramón. *Planificación y Programación de la producción*; MARCOMBO, Barcelona, 1989.

COMPANYS, Ramón; COROMINAS, Albert. *Organización de la Producción II. Dirección de Operaciones 3*; Edicions UPC, Barcelona, 1995.

Referencias

- 1 En este punto, pueden utilizarse, también, procedimientos basados en la minimización de discrepancias, óptimos o heurísticos, que pueden ser parecidos a los empleados para distribuir los escaños de un parlamento en función de los votos obtenidos por las listas de los partidos.