



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERÍA

“LA APLICACIÓN DE REDES
NEURONALES EN LA
DISTRIBUCIÓN DE PLANTA”

MONOGRAFÍA
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO INDUSTRIAL

PRESENTA :

P.D.I.I. CASTILLO VILLEGAS ANGEL

Director: Ing. Sergio Blas Ramírez Reyna

Gracias Dios. No pudo expresar en unas cuantas frases toda la alegría y todos los sentimientos que brotan al hablar de ti abba. No se que escribir para agradecer todo el amor que me brindado siempre, porque sólo un instante dura tu enojo pero toda una vida tu bondad, y solo puedo decir, en ti confío, SEÑOR mi Dios, te adoraré y alabaré toda mi vida, siempre te daré gracia

Este trabajo de investigación está dedicado a las personas más importantes de mi vida, a mi madre, padre y hermano, por todo el apoyo que me han brindado en el transcurso de ella, quienes sin escatimar esfuerzo alguno me formaron, dándome cariño y confianza en los momentos difíciles y en especial por el amor que día a día me dan, el cual no existen palabras para expresar lo que significa para mí. Por todo eso deseo que mi triunfo como profesional sea como un regalo, ya que sin ustedes no lo hubiera logrado. A Dulce Leonor por su amor y cariño gracias por estar a mi lado. Que Dios los tome de la mano y camine con ustedes siempre, los quiero mucho.

Gracias a mis amigos, compañeros, maestros, y sinodales que colaboraron en la realización de este trabajo de investigación y en especial al Ing. Sergio Blas Ramírez Reyna por su apoyo.

CONTENIDO

PÁGINA

ÍNDICE DE FIGURAS	xv
ÍNDICE DE TABLAS	xvii
INTRODUCCIÓN	<u>xix</u>
JUSTIFICACIÓN	<u>xx</u>
OBJETIVOS	<u>xxi</u>

CAPÍTULO I

DISTRIBUCIÓN EN PLANTA

1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 QUE ES LA DISTRIBUCIÓN EN PLANTA	2
1.3 OBJETIVOS GENERALES DE UNA DISTRIBUCIÓN	2
1.3.1 Procedimiento para llegar a los objetivos	4
1.4 PRINCIPIOS DE LA DISTRIBUCIÓN EN PLANTA	6
1.5 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA DE DISTRIBUCIÓN DE PLANTA	7
1.5.1 El problema de distribución de planta desde el enfoque de sistemas	8
1.5.2 Naturaleza de los problemas de distribución en planta	9
1.6 NECESIDAD DE UNA DISTRIBUCIÓN EN PLANTA	10
1.6.1 Necesidad de una nueva distribución en planta	13
1.6.2 Por qué hacer una distribución en planta	15
1.6.3 Beneficios de una buena distribución	16
1.6.4 Síntomas para pensar en una mejora en la distribución en planta	18
1.6.5 Preguntas para encontrar el mejor camino a la distribución en planta	21
1.7 COSTOS DE UNA DISTRIBUCIÓN EN PLANTA	23
1.7.1 Estimación de los costos de la nueva distribución	26
1.7.2 Costos directos	28
1.7.3 Economías en la nueva distribución	29
1.7.4 Evaluación de la nueva distribución	30

CAPÍTULO 2

TIPOS DE DISTRIBUCIÓN EN PLANTA

2.1 ANTECEDENTES	31
2.2 CONSTRUCCIÓN DEL PLAN LAYOUT	32
2.2.1 Errores más frecuentes al realizar una distribución	35
2.3 TIPOS DE DISTRIBUCIÓN EN PLANTA EN CUANTO A MOVIMIENTO	36
2.4 ARREGLOS DE DISTRIBUCIÓN EN PLANTA	36
2.4.1 Disposición por posiciones fijas	37
2.4.2 Distribución por procesos	38
2.4.3 Disposición por producto o en línea	40
2.4.4 Distribuciones híbridas o células de trabajo	42
2.5 ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN EN PLANTA	45
2.6 IMPLANTACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN	48
2.7 QUIÉN HACE LA INSTALACIÓN DE LA NUEVA DISTRIBUCIÓN	48
2.7.1 Instalación de la distribución de la planta	51
2.7.2 Recomendaciones y pasos a seguir en la instalación	52

CAPÍTULO 3

MÉTODOS PARA REALIZAR LA DISTRIBUCIÓN EN PLANTA

3.1 ANTECEDENTES	54
3.2 DISEÑO MODULAR	55
3.3 METODOS PARA REALIZAR UNA DISTRIBUCIÓN	56
3.3.1 Descripción de las tablas guía de mejora	56

3.3.2 Método S.L.P. (Systematic Layout Planning)	64
3.3.3 Aproximación del problema de asignación cuadrática	77
3.3.3.1 Alternativas de solución del problema de asignación cuadrática	80
3.3.3.2 Algunos resultados obtenidos para el problema de asignación cuadrática	81
3.3.4 Método de distribución en la programación lineal	82
3.5 DISEÑO COMPUTARIZADO DE INSTALACIONES	84
3.6 SIMULACIÓN	88
3.6.1 Modelos de simulación	90
3.7 ALGORITMOS GENÉTICOS	92
3.8 SOFTWARES	93

CAPÍTULO 4

REDES NEURONALES ARTIFICIALES

4.1 ANTECEDENTES	94
4.2 QUE SON LAS REDES NEURONALES ARTIFICIALES	95
4.2.1 Historia sobre los precursores de las redes neuronales	97
4.3 DEFINICIONES SOBRE LAS REDES NEURONALES ARTIFICIALES (RNA)	99
4.3.1 Distintas visiones o enfoques de los modelos conexionistas	99
4.4 REDES NEURONALES BIOLÓGICAS	100
4.5 LA NEURONA ARTIFICIAL	102
4.5.1 Redes neuronales artificiales analogía con las redes neuronales biológicas	104
4.5.2 Arquitectura y formas de interconexión	105
4.5.3 Características de las redes neuronales artificiales	107
4.5.4 Ventajas de las redes neuronales artificiales	108
4.6 CLASIFICACIÓN DE LAS RNA	109
4.7 LOS MODELOS MÁS COMUNES DE RNA	112
4.7.1 Aplicaciones de las Redes Neuronales Artificiales	113
4.7.2 Campo de aplicación de las RNA	114
4.8 APLICACIÓN DE LAS REDES NEURONALES ARTIFICIALES	115

CONCLUSIONES

117

BIBLIOGRAFÍA

119

ANEXOS

ANEXO A

APLICACIÓN Y RESULTADOS DE LA RED NEURONAL ARTIFICIAL	A-1
---	-----

ANEXO B

CONSIDERACIONES ADICIONALES DE LA DISTRIBUCIÓN EN PLANTA	B-1
--	-----

ANEXO C

UTILIZACIÓN DE LOS GRÁFICOS Y DIAGRAMAS	C-1
---	-----

ANEXO D

SÍMBOLOS EMPLEADOS EN LOS CURSOGRAMAS	D-1
---------------------------------------	-----

ANEXO E

MODELOS MÁS COMUNES DE RNA	E-1
----------------------------	-----

GLOSARIO DE TÉRMINOS

G-1

ÍNDICE DE FIGURAS

PÁGINA

CAPÍTULO 1

1.1.- Elementos de una distribución en planta	2
1.2.- Procedimiento adoptado por los ingenieros industriales para llegar a los objetivos de la D.P.	6
1.3.- Relación desde el enfoque de sistemas	9
1.4.- Naturaleza de los problemas de distribución en planta	10
1.5.- Necesidades de una distribución en planta	11
1.6.- Tamaño de una planta	12
1.7.- Necesidades para pensar en una nueva distribución en planta	13
1.8.- Beneficios de una buena distribución en planta	18
1.9.- Costos importantes al realizar la distribución en planta	24
1.10.- Variación de los costos de distribución	26
1.11.- Índices de relación	29

CAPÍTULO 2

2.1.- Muestras de figuras para realizar una distribución en planta	32
2.2.- Diagrama de hilos	33
2.3.- Modelos en tridimensiones	34
2.4.- Distribución por posición fija	37
2.5.- Distribución por proceso	39
2.6.- Distribución por producto	41
2.7.- Las consideraciones importantes y tipos de células industriales	44

Capítulo 3

3.1.- Ejemplo de disposición modular o en "espina"	56
3.2.- Partes que constituyen la tabla guía de mejora	57
3.3.- Tabla guía de servicios y distribución de servicios	58
3.4.- Tabla guía de utilización y disposición de las áreas de trabajo	59
3.5.- Tabla guía de zona de almacenamiento	60
3.6.- Tabla guía de factores para la colocación del equipo	61
3.7.- Tabla guía de instalación de personal	62
3.8.- Tabla de concentrado de alternativas	62
3.9.- Tablas guía de utilización y disposición de las áreas de trabajo	63
3.10.- Esquema general del método SLP	66
3.11.- Gráfico P-Q	67
3.12.- Representaciones convencionales en los diagramas de operaciones	68
3.13.- Un diagrama analítico de recepción, inspección y numeración de piezas de una empresa de construcciones_mecánicas	69
3.14.- Diagrama de recorrido correspondiente al método antiguo de recepción inspección y numeración de piezas de la figura 3.13	70
3.15.- Diagrama de recorrido correspondiente al método nuevo para la recepción, inspección y numeración de piezas que refiere a la figura anterior	71
3.16.- Seis patrones de flujo horizontal	72
3.17.- Algunos esquemas de flujo vertical	72
3.18.- Tabla de relación de actividades	73
3.19.- Representación del problema de asignación cuadrática	79



3.20.- El centroide equivalente al centro de gravedad	79
3.21.- Idea de la disposición geográfica y del patrón de distribución	83
3.22.- Distribución obtenida con craft	84
3.23.- Una primera solución obtenida según el algoritmo corelap	85
3.24.- Esquema de barrido en que se basa el programa aldep	86
3.25.- Simulación de barco de contenedores descargando en un muelle	89
3.26.- Red descriptiva de la metodología de la simulación por computadora	91

capítulo 4

4.1.- Representación de una neurona biológica	101
4.2.- Esquema de una neurona artificial con su función de activación y función de disparo	102
4.3.- funciones de activación más usuales	103
4.4.- Unidad de proceso típica	104
4.5.- Estructura de una red neuronal artificial feedforward	106
4.6.- Representación de redes realimentadas y unidireccionales	110

ANEXO A

A-1.- Representación de una solución válida para un problema de cuatro departamentos	a-2
A-2.- Diagrama de flujo del algoritmo del simulador de la máquina de boltzmann	a-5
A-3.- Ilustración de los 4 sitios disponibles para la distribución del ejemplo	a-7
A-4.- Matriz de distancia entre sitios (dhk) para el ejemplo	a-8
A-5.- Matriz de flujos entre departamentos (fhk) para el ejemplo	a-9
A-6.- Flujos entre los cuatro departamentos (fhk) para el ejemplo	a-9
A-7.- Matriz de costos de movimiento entre departamentos (∞_{ij}) para el ejemplo	a-9
A-8.- Soluciones obtenidas por medio de la simulación de la rna contra las soluciones explícitas	a-12
A-9.- Mejor distribución obtenida por la simulación de la rna	a-13

ANEXO D

D-1.- Presenta un ejemplo del uso de símbolos empleados en los cursogramas	D-3
--	-----

ANEXO E

e-1.- Neurona artificial perceptrón simple	e-1
e-2.- Modelo elemento lineal adaline	e-3
e-3.- Representación de un perceptrón multicapa (mlp)	e-4
e-4.- Forma funcional de una sigmoide	e-4
e-5.- Modelo memorias asociativas (tendencias científicas)	e-6
e-6.- Estructura de la red de elman	e-8
e-7.- Modelo de red de hopfield de 3 unidades	e-9
e-8.- Arquitectura típica de una red de función base radial	e-11
e-9.- Forma funcional de una función tipo gaussiana	e-11
e-10.- Centros en el espacio de las entradas	e-12
e-11.- Conexiones de una red de kohonen	e-16
e-12.- Posible evolución de la vecindad en una red de kohonen	e-17



ÍNDICE DE TABLAS

PÁGINA

CAPÍTULO 1

- 1.1.- Puntos a pensar para determinar la disposición de la fábrica 16

CAPÍTULO 2

- 2.1.- Tipos de distribución en planta en cuanto a movimiento 36
2.2.- Comparación de los 4 principales tipos de arreglos de distribución en planta 47

CAPÍTULO 3

- 3.1.- Actividades o funciones que requieren espacio 74

CAPÍTULO 4

- 4.1.- Comparación entre las neuronas biológicas reales y las unidades de proceso artificiales 105
4.2.- Clasificación del RNA 109
4.3.- Modelos más comunes de redes neuronales 112
4.4.- Aplicaciones tecnológicas de las RNA 113
4.5.- Campo de aplicación de las redes neuronales artificiales 114

ANEXO A

- A-1.- Departamentos para el ejemplo A-7
A-2.- Valores de los parámetros utilizados para el ejemplo A-10
A-3.- Resultados obtenidos en 10 ejecuciones del problema A-10
A-4.- Las 24 soluciones explícitas para el ejemplo A-11

ANEXO C

- C-1.- Gráficos y diagramas de uso más común. C-2





INTRODUCCIÓN

Gran porción del capital invertido de una compañía suele estar incluido en las instalaciones, normalmente esta inversión es menos líquida que otros activos como el inventario, si se planifican en forma adecuada y se utilizan de manera eficiente las instalaciones tienen un efecto positivo en los costos y las capacidades de operación, estos hechos en conjunto indican que la efectividad de la planeación y utilización de las instalaciones puede tener una consecuencia significativa en el rendimiento sobre los activos.

Al hablar del tema de distribución en planta, muchos podemos decir que sabemos de que se trata, existe demasiada literatura que nos ayudan a entender este concepto, su clasificación, los factores que influyen en la misma, así como metodologías que nos ayudan para realizar una buena distribución, puesto que la ordenación de las áreas de trabajo se ha desarrollado desde hace mucho tiempo. La disposición del espacio se suele determinar al inicio de las operaciones, es decir, cuando una empresa u oficina empieza a funcionar o surge algún cambio en la en la producción del producto y por lo tanto una modificación de las instalaciones.

Con la ayuda del Internet y de la bibliografía existente, podemos tener un panorama más amplio sobre las alternativas de solución a esta problemática, en años recientes a sobre salido el análisis computarizado. Se dispone actualmente de varios tipos de softwares que contienen diferentes características, y así poder obtener una forma de ordenar la empresa en el menor tiempo posible.

Por lo anterior, podemos destacar que son muchas las alternativas de solución para incluirlos a todos en un estudio breve. Los avances tecnológicos han permitido el desarrollo de nuevas metodologías y herramientas que ayudan a tomar la decisión correcta. Una de ellas son las redes neuronales artificiales y este trabajo tiene como propósito aumentar los conocimientos con relación a las redes neuronales artificiales aplicadas a la problemática de la distribución en planta, ya que, es considerada el eje central para la solución de problemas de producción, disposición de áreas y equipo de la forma más adecuada.

Los programas de computadora pueden ofrecer una ayuda muy valiosa pero no pueden por si mismos producir una distribución de las instalaciones, por ello es importante contar con la información necesaria sobre el gran abanico de alternativas y elegir la mejor.

La estructura de esta investigación esta comprendida por una justificación y objetivos del trabajo en primer lugar, así mismo se desglosan cuatro capítulos los cuales generan las conclusiones correspondientes.





El capítulo uno, está orientado a dar a conocer lo que es la distribución en planta, sus objetivos, principios, las distintas problemáticas que pueden existir al contar con una mala distribución, las necesidades de una buena distribución, sus beneficios, y costos que influyen para contar con una distribución en planta adecuada.

En el capítulo dos, se enfoca a describir los principales tipos de distribución en planta, explicando brevemente arreglos más utilizados, siendo estos; la disposición por posiciones fijas, disposición por proceso, disposición por producto o línea, y disposiciones híbridas o células de trabajo. Se da una explicación del uso de cada arreglo, sus ventajas y desventajas, así como cuando se recomienda usar cierto tipo de distribución.

El capítulo tres, llamado métodos para realizar la distribución en planta, como el título lo menciona se describen algunos métodos usados a la resolución del problema de distribución en planta, como lo son el método S.L.P. (planeación sistemática de la distribución en planta), el uso de las tablas guía de mejora, la asignación cuadrática, diseño computarizado, simulación, por mencionar algunos temas.

En el capítulo cuatro, está orientado a dar a conocer las redes neuronales artificiales como forma de solución al problema de distribución en planta, se describe una breve reseña histórica de sus orígenes, características y ventajas de los modelos más comunes de redes neuronales artificiales, así como donde se aplican este tipo de soluciones.

Así mismo para reforzar este trabajo de investigación mediante cinco anexos como apoyo al lector. En el anexo uno se muestra la aplicación y resultados de la red neuronal artificial, modelado por medio del problema de asignación cuadrático, y realizando la simulación de una red neuronal del tipo máquina de Boltzmann.

En el segundo de ellos las consideraciones adicionales de la distribución en planta, almacenes, oficinas y servicios, que son considerados como áreas no productivas pero de gran importancia en una empresa.

El tercero habla sobre la utilización de los gráficos y diagramas, ya que, el empleo inteligente de los diagramas se traducirá en mejoras valiosas a la distribución de la empresa. Así mismo el cuarto anexo menciona los símbolos empleados en dichos cursogramas.

Y por último el quinto anexo se refiere a los modelos más comunes de las redes neuronales artificiales, donde se da una breve explicación de los mismos.



JUSTIFICACIÓN

La distribución de equipo y de áreas de trabajo es un problema ineludible para todas las plantas industriales, por lo tanto no es posible evitarlo. El solo hecho de colocar un equipo dentro del edificio, ya representa un problema de ordenación. Por lo que la decisión de distribución en planta en una empresa es importante, ya que, determina la ubicación de los departamentos de las estaciones de trabajo, de las máquinas y de los puntos de almacenamiento de una instalación productiva.

Los avances tecnológicos han permitido el desarrollo de nuevas metodologías y herramientas que ayudan a tomar la decisión correcta, analizando los resultados y las alternativas de diseño, lo que resulta fundamental el uso de la computadora y por tanto las redes neuronales son una opción viable para encontrar material de investigación. Esta herramienta ayuda a lo que es la toma de decisiones, puesto que es difícil en cualquier sector que nos encontremos privado o público, en la industria u otros sitios, hallar el resultado óptimo que facilite las tareas a realizar.

Por lo anterior es importante dar a conocer a las redes neuronales como una alternativa de solución a la distribución en planta. La responsabilidad del ingeniero industrial es diseñar una instalación que elabore el producto especificado, a la tasa estipulada de producción, y a un costo mínimo, puesto la elaboración de un producto va directamente ligado a una buena distribución en planta, ya que minimiza costos y aumenta la efectividad del proceso.

Algunas alternativas han surgido y evolucionando en la computación, como son los algoritmos genéticos, algoritmos evolutivos, software y las redes neuronales artificiales. Tomando en cuenta que estas últimas se encuentra en constante evolución, pues día a día se comprueba que puede aplicarse a diversos ámbitos, por lo cual hace que este campo presente gran potencial por descubrir.

OBJETIVOS

GENERAL

Recopilar y describir la información reciente sobre la utilidad y ventajas que ofrece el uso de redes neuronales artificiales, para dar solución a los problemas de distribución en planta.

ESPECÍFICOS

- ➔ Identificar los principios y factores más relevantes de una distribución de planta.
- ➔ Describir las alternativas de solución existentes.
- ➔ Presentar como una alternativa de solución para problemas de distribución en planta, a las redes neuronales artificiales.



CAPÍTULO 1

DISTRIBUCIÓN EN PLANTA

1.1 ANTECEDENTES

Para relacionarnos con todo lo referente a los estudios de la distribución en planta, primeramente hablaremos de la historia de las empresas como negocios. Tuvieron sus inicios desde que el hombre se vuelve sedentario y empieza a practicar la agricultura. Es ahí cuando el hombre empezó a cobrar por su esfuerzo de una manera significativa, es decir, dando un servicio y recibiendo otro, así fue hasta la época contemporánea. Las empresas se han desarrollado lentamente; sin embargo, el índice de evolución ha aumentado de manera significativa. Hoy en día, la tasa de cambio en los negocios es alta; una de las pocas variaciones fundamentales de la historia empresarial esta ocurriendo en la actualidad. Lo cual nos dice que si se comprende la naturaleza del cambio actual, se podrá encontrar como emplearlo en las empresas durante este periodo de transformación.

El problema de distribución de planta ha sido comúnmente resuelto mediante técnicas que hacen la distribución de acuerdo con algún criterio empírico previamente definido, realizando una búsqueda restringida sobre las posibles configuraciones realizables. Estas regiones de búsqueda en el espacio de posibles combinaciones son definidas de acuerdo con los criterios heurísticos utilizados, obteniéndose como resultado, soluciones factibles que no son necesariamente las óptimas. En el problema de la distribución de espacios en plantas industriales se pretende ubicar de forma óptima los departamentos de acuerdo con sus necesidades. Este es un problema complejo de optimización combinatoria debido al gran número de departamentos.





1.2 QUE ES LA DISTRIBUCIÓN EN PLANTA

Por distribución en planta se entiende: “La ordenación física de los elementos industriales, esta ordenación, ya practicada o en proyecto, incluye, tanto los espacios necesarios para el movimiento de materiales, almacenamiento, trabajadores indirectos y todas las otras actividades o servicios, así como el equipo de trabajo y el personal de taller”¹. Como se muestra en la figura. 1.1.

La ordenación de las áreas de trabajo se ha desarrollado desde hace muchos años, las primeras distribuciones las desarrollaba el hombre que llevaba a cabo el trabajo, o el arquitecto que proyectaba el edificio, con la llegada de la revolución industrial se transformó el pensamiento referente que se tenía hacia ésta, buscando entonces los propietarios un objetivo económico al estudiar las transformaciones de sus fábricas.

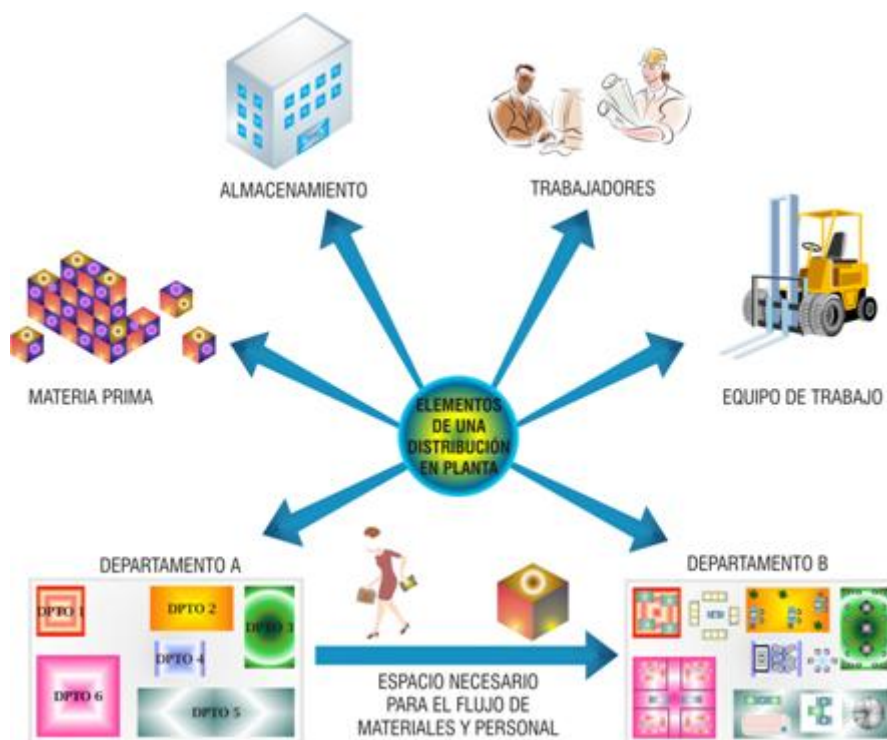


Figura 1.1.- Elementos de una distribución en planta
Fuente: Elaboración propia

1.3 OBJETIVOS GENERALES DE UNA DISTRIBUCIÓN

El principal objetivo de la distribución en planta es la ordenación de las instalaciones productivas y no productivas al menor costo posible, hallando la forma más económica posible de colocar las áreas de trabajo, maquinaria y equipo, y al mismo tiempo sea segura y satisfactoria para los empleados, además para ésta se tienen los siguientes objetivos específicos:

¹ Según Richard Muther. “Muther, R. (1986)”





- **Integración conjunta de todos los factores que afectan la distribución.** Este principio involucra íntegramente el concepto de enfoque de sistemas, establece que la mejor distribución es la que logre una integración de los operarios, los materiales, las actividades y cualquier otro factor, de tal manera que la planta se convierte en una única máquina, en otras palabras es visto como un sistema, es notable que si cualquiera de sus elementos genera un conflicto el funcionamiento general será degradado o inferior al deseado.
- **Movimiento del material según distancias mínimas.** Describe que la mejor distribución es la que permite que la distancia a recorrer entre operaciones sea la más corta, ya que el movimiento del material no le agrega valor al producto, al contrario, incrementa el costo. Este principio puede aplicarse de forma análoga a instalaciones como los centros de salud, en los cuales la distancia y el tiempo implican una importancia definitiva.
- **Circulación del trabajo a través de la planta.** Este principio establece que la mejor distribución es la que ordena las áreas de trabajo de tal manera que cada operación está en el mismo orden en que se tratan los materiales, de esta forma se evitan recorridos innecesarios, interrupciones o congestiones, esto se puede ver más notoriamente en los centros de ensamblado, donde es necesario que se encuentren las piezas en el orden en que se van a utilizar.
- **Utilización efectiva de todo el espacio.** Establece la necesidad de aprovechar el espacio horizontal y vertical, aconsejando la utilización de varios niveles en la distribución. Existen distribuciones de plantas industriales que se realizan en tres dimensiones, en donde la altura de la maquinaria desempeña un papel importante.
- **Satisfacción y seguridad de los trabajadores.** La mejor distribución deberá propiciar que el trabajo sea seguro y cómodo para los trabajadores en interacción con los materiales y la maquinaria, lo que contribuirá a que sean más eficientes; una buena distribución asegurará que no solamente los costos de interacción disminuyan, sino procurará que la ubicación de los departamentos o maquinaria proporcione seguridad y comodidad a sus usuarios.
- **Flexibilidad de distribución para facilitar reajustes.** Una distribución flexible permitirá realizar cambios y ajustes a menor costo e inconveniencia, dicha flexibilidad se hace necesaria conforme incrementan los avances tecnológicos, a los cuales cualquier organización siempre debe estar dispuesta a adaptarse, tales avances pueden imponer cambios como los siguientes: tipos de producto, volumen, maquinaria, mano de obra, procesos, nuevas instalaciones, remodelaciones, etc.





La distribución en planta tiene dos intereses claros que son: *es el interés económico*; con el que persigue aumentar la producción, reducir los costos, satisfacer al cliente mejorando el servicio y mejorar el funcionamiento de las empresas, y *el interés social*; con el que persigue darle seguridad al trabajador y satisfacer al cliente.

1.3.1 Procedimiento para llegar a los objetivos

En cada actividad industrial se ha desarrollado un procedimiento que ha sido considerado como el más útil para conseguir eficientemente los objetivos deseados, el adoptado comúnmente por los ingenieros industriales para planificar la distribución de una planta se describe a continuación y se muestra en la figura 1.2. Tomando en cuenta que podremos separarnos de este procedimiento cuando sea necesario.

1. **Establecer cuáles serán las secciones productivas.** Esto se hace en función del tipo de procesos productivos, así como desarrollar los diagramas de movimientos de materiales, esquemas de flujo para los subconjuntos y para los componentes que han de alimentar la corriente principal de producción.
2. **Diseñar las secciones productivas.** Aquí serán fijados los límites generales de las secciones directamente encargadas de la transformación de las materias primas en productos acabados, el objetivo aquí no es determinar el tamaño físico de esas secciones sino establecer la relación existente entre ellas, el tamaño físico de las secciones vendrá determinado por la disposición general de los espacios internos requeridos para las máquinas y el flujo de los materiales.
3. **Diseñar las secciones no productivas.** Las oficinas generales, recepción, expediciones, mantenimiento y muchas otras secciones son considerados de naturaleza no productiva (ver Anexo B), cada una tiene una función que es necesaria para alcanzar los objetivos de la planta, pero ninguna está directamente involucrada en la conversión de las materias primas en productos acabados. Otras consideraciones tales como la presencia de procesos ruidosos, la comodidad del personal de la planta y la comodidad de los visitantes determinan la localización de otros departamentos no productivos y también se toman en cuenta; también debe estudiarse debidamente el espacio de almacenamiento necesario para las secciones de recepción y expediciones, esto requiere conocer el stock máximo, medio y mínimo de los distintos materiales así como de los productos acabados, al analizar el espacio no debe estudiarse sólo la superficie necesaria, también se toma en cuenta la altura de techos requerida.





4. **Conseguir maquetas o modelos de máquinas y otros equipos.** Frecuentemente se pueden conseguir maquetas de los equipos, de la maquinaria a escala 1:50, de los propios proveedores; ésta es la escala más comúnmente utilizada por los ingenieros industriales en sus trabajos de distribución en planta, o en su defecto uno mismo puede hacerlo de la forma que más convenga, utilizando el material adecuado como el papel engomado para que pueda pegarse en cualquier superficie, plantillas, entre otras, con el fin de poder plantearse diferentes tipos de distribución, por lo regular todo prototipo se fotografía antes de ser modificado.

5. **Distribución en planta general de las secciones productivas.** Las máquinas, los pasillos, los depósitos de obra en curso, las fuentes para beber, los lavabos, las mesas de verificación, las oficinas de los supervisores y demás instalaciones se han de disponer próximas unas de otras, con esta disposición ha de permitir que los materiales pasen a través de las secciones de una manera directa y organizada, las máquinas deben colocarse de manera que hagan posible un adecuado manejo de los materiales, es muy importante recordar que el ingeniero industrial que está trabajando en una distribución en planta, no sólo ordena las máquinas sino también el espacio circundante de el operario debe tener espacio suficiente para desarrollar sus actividades, pero no debe ser excesivo, para poderlo determinar es necesario visualizar los movimientos requeridos para operar las distintas máquinas, teniendo en cuenta las interferencias causadas por componentes que sobresalen, palancas de máquinas y por el equipo de movimiento de materiales.

6. **Disposición de los detalles.** Una vez determinado el flujo de los materiales y establecida la ubicación de las máquinas y de los equipos complementarios, se examinarán los detalles operativos de cada centro de trabajo, cada operario debe trabajar en las siguientes condiciones:
 - **A la altura correcta.** Sin que tenga necesidad de agacharse para realizar su trabajo o algún esfuerzo innecesario el cual se pueda evitar.
 - **Próximo a las máquinas.** El operario debe tener los materiales lo más cerca posible, que no tenga que hacer recorridos largos al maniobrar con su equipo de trabajo, ya que con ello se evita el tiempo muerto así como fatiga, y por ende un menor costo en la pieza a realizar.
 - **Adecuadamente orientado.** Cada pieza de material que llegue al operario debe estar orientada de la misma manera y colocada en el mismo lugar que la precedente para que no sea necesario voltrear.
 - **El suministro debe ser constante.** Evitando así los retrasos que se producirían en el caso de tener que esperar a los materiales.





7. **El edificio.** En este momento ya ha quedado establecida la situación de las paredes que delimitan las áreas de cada sección y la definitiva distribución en planta ya está aprobada, estamos listos ahora para encuadrar todos estos elementos en un edificio.
8. **Valoración.** Es rara la distribución en planta que tenga aceptación o se le considere la óptima en la forma que se presenta a la dirección, generalmente se harán valoraciones y modificaciones varias veces antes de que las opiniones estén de acuerdo.

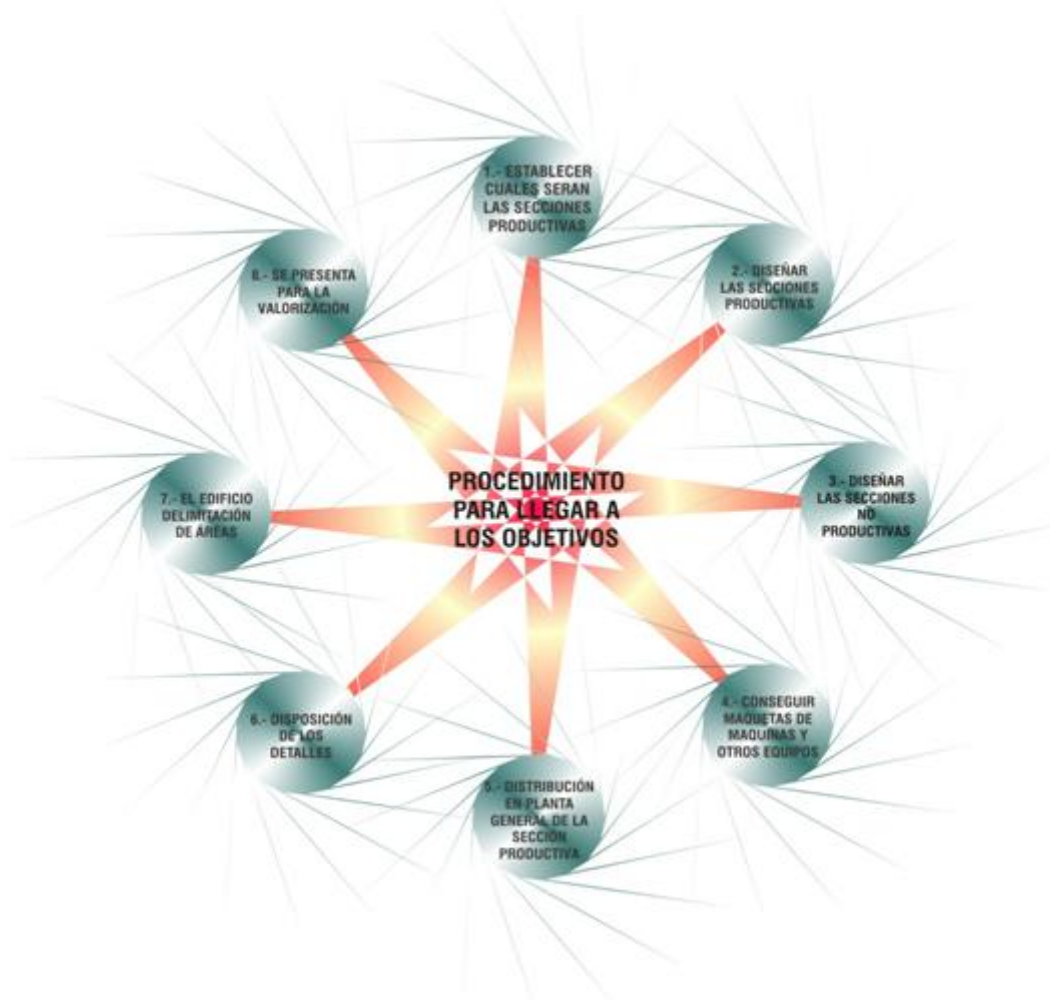


Figura 1.2.- Procedimiento adoptado por los ingenieros industriales para llegar a los objetivos de la D. P.
Fuente: Elaboración propia

1.4 PRINCIPIOS DE LA DISTRIBUCIÓN EN PLANTA

La distribución en planta de las instalaciones productivas es todavía un arte, pero igual que sucede con el arte aplicado en otros campos, aquí también hay principios básicos para guiar al artista. Estos principios, intentan ayudar al ingeniero industrial a diseñar distribuciones en planta de mínimo costo y por ende con una mejor aceptación.





1. **Diseñar el edificio una vez hecha la distribución en planta.** La función del edificio es cobijar y proteger a los sistemas productivos, es su cubierta exterior, su caparazón, por supuesto, muchas distribuciones son sólo una reordenación de instalaciones dentro de una planta existente, cuando esto es así, este principio no tiene aplicación. Sin embargo, cuando se va a construir una nueva planta este consejo es valioso ya que la estructura y ordenación durará más años.
2. **Comenzar con la distribución ideal.** La primera fase de la disposición de una planta es la división en áreas generales, aquí y en la siguiente planificación de las instalaciones, lo mejor es empezar con la distribución ideal, es muy probable que dicten cambios pero el resultado debe ser lo más aproximado posible a la disposición que es teóricamente la mejor.
3. **Empezar con un diagrama de áreas generales y descender hacia los detalles.** El principio sería empezar con los detalles de una pequeña área, luego pasar a la siguiente y así sucesivamente, este procedimiento lleva pronto a situaciones extrañas y a controversias, incluso en pequeñas distribuciones en planta, se recomienda bosquejar las distintas secciones y proceder a la disposición de cada una de ellas de una manera general y después trabajar los detalles de la distribución en planta.
4. **Conseguir otras opiniones.** Las distribuciones de la planta en general, han de ser un compromiso de los deseos de varios directivos, es muy conveniente presentar las distribuciones en planta propuestas a los jefes de departamento afectados por los cambios, ya que de esta manera pueden ser resueltas las diferencias y realizadas las modificaciones necesarias mientras la distribución todavía está en la fase de diseño.
5. **El trabajo debe fluir uniformemente desde la recepción hasta la expedición.** En las disposiciones por proceso puede ser difícil evitar ocasionales retrocesos en el paso de un centro de trabajo al siguiente, sin embargo la distribución ideal ha de evitar al máximo estos movimientos de retroceso de los materiales.

1.5 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA DE DISTRIBUCIÓN DE PLANTA

En muchas empresas los proyectos de distribución en planta son un trabajo continuo, en otras, los cambios en la disposición son tan raros que cuando se presenta la necesidad pueden contratarse los servicios de consultores ajenos a la empresa. Los problemas de distribución en planta son muy conocidos en cualquier ámbito que se encuentre uno, como lo son la falta de control, congestionamiento de personas y materiales, un manejo muy repetitivo, largas distancias de





transportación, muchos accidentes, cuellos de botella entre otros; de acuerdo con el problema de distribución de planta es encontrar el arreglo más eficiente de m departamentos, en términos de ingeniería industrial este problema ha sido desarrollado por distintos métodos, herramientas y metodologías en la distribución de plantas industriales o de servicios, ya que se considera que una buena distribución es la clave del éxito, por ello se busca la distribución óptima, o la distribución que cubra satisfactoriamente nuestras necesidades.

1.5.1 El problema de distribución de planta desde el enfoque de sistemas

Desde el punto de vista del enfoque de sistemas, la distribución de planta es claramente un ejemplo de sistema, es decir, un conjunto de cosas que relacionadas entre sí y ordenadamente contribuyen a cumplir con el mismo objetivo, por lo que si alguno de ellos no funciona adecuadamente, esto no se logrará, todo se desprende de un suprasistema que le da vida a el sistema y el al mismo tiempo a subsistemas como se muestra en la figura 1.3:

- **Suprasistema (SS).** El suprasistema es considerado como las instalaciones en la que se encuentran la planta a distribuir, esto es, el edificio y área total al que pertenece la planta, se considera también lo que rodea a esta infraestructura, por ejemplo la región geográfica.
- **Sistema (S).** En este caso, el sistema bajo estudio es la planta, dentro de la cual se encuentran otros subsistemas: el técnico-económico y el socio-cultural.
- **Subsistema Técnico-Económico (ss).** Este subsistema abarca todo lo que se refiere a la infraestructura, que puede ser los recursos materiales, maquinaria o instalaciones (almacenes, áreas de trabajo, etc.). Dentro de él, surgen problemas como la falta de recursos para ampliar la planta.
- **Subsistema Socio-Cultural (ss).** Este sistema considera todo lo que implica a los recursos humanos. Aquí surge la problemática de la resistencia al cambio, en el caso de una redistribución de planta.
- **Interrelaciones Internas (ii).** Se refieren al flujo de información y actividades que surge entre ambos subsistemas: el técnico-económico y el socio-cultural, es decir, la interacción ocasionada entre ambos. Puede verse como las actividades realizadas por medio de la maquinaria y el uso de las instalaciones.
- **Interrelaciones Externas (ie).** Se llevan a cabo entre los dos sistemas ejemplificados: los proveedores, los clientes y distribuidores. Estas relaciones son principalmente de compra-venta. También influyen dentro de la ubicación (geográfica) de la planta, ya que se requiere cierta cercanía geográfica hacia los clientes, proveedores y distribuidores.



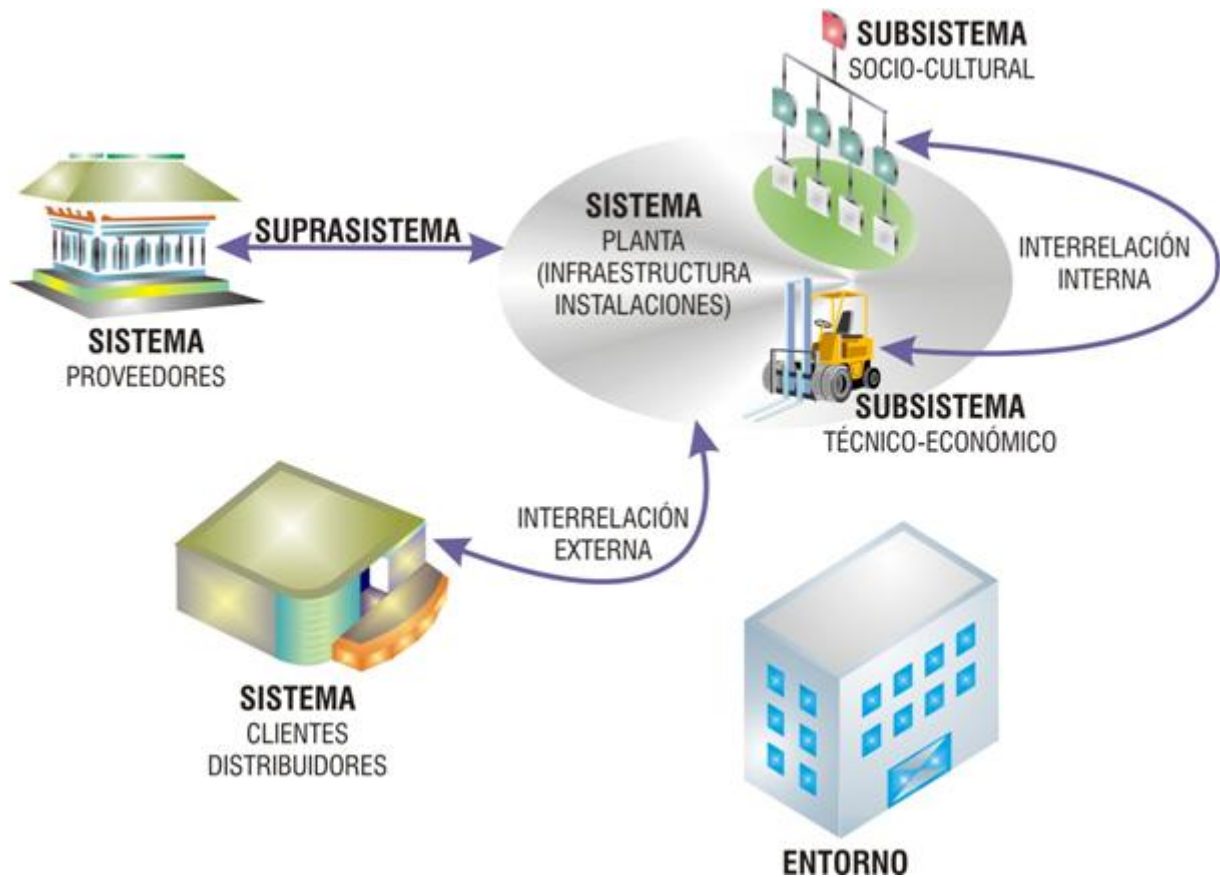


Figura 1.3.- Relación desde el enfoque de sistemas
Fuente: Martínez González, C. L. (2002)

1.5.2 Naturaleza de los problemas de distribución en planta

Existe gran variedad de complicaciones al realizar una ordenación del espacio existente, por ello a continuación se muestran resumidas brevemente los tipos de problemas que existen al realizar una distribución en planta, y las razones para cambiar o modificar la existente. (Ver la figura 1.4) Cabe resaltar que los problemas son diferentes y dependen del departamento u área de trabajo, siendo las siguientes:

- **Incorporación de un nuevo producto.** Si el producto es similar al actual podemos necesitar simplemente nuevas herramientas y más espacio de almacenaje, si por el contrario, el producto no es similar puede ser necesaria una nueva línea de producción, un nuevo departamento o la creación de una nueva planta.
- **Cambios en la demanda del producto.** Un incremento o un decremento sustancial en la demanda del producto puede provocar el cambio de un tipo básico de distribución a otro, por ejemplo, pasar de una producción por proceso a una producción por producto. Puede requerir una nueva planta o la ampliación del edificio actual.





- **Reposición de equipo obsoleto.** Si el equipo actual da muestras de ser sustancial y económicamente inferior a otro disponible en el mercado debe ser reemplazado; ese cambio es muy probable que cause ajustes en áreas y otros equipos que estén relacionados con él.
- **Revisión de métodos y reducción de costos.** Los ingenieros industriales buscan continuamente cambios en los procesos y en los métodos que reduzcan los costos globales de funcionamiento de la planta. Muchos de esos cambios requerirán a su vez cambios en la distribución de las instalaciones.
- **Ajustes en distribución ya existente.** Se presenta principalmente, cuando varían las condiciones de operación.

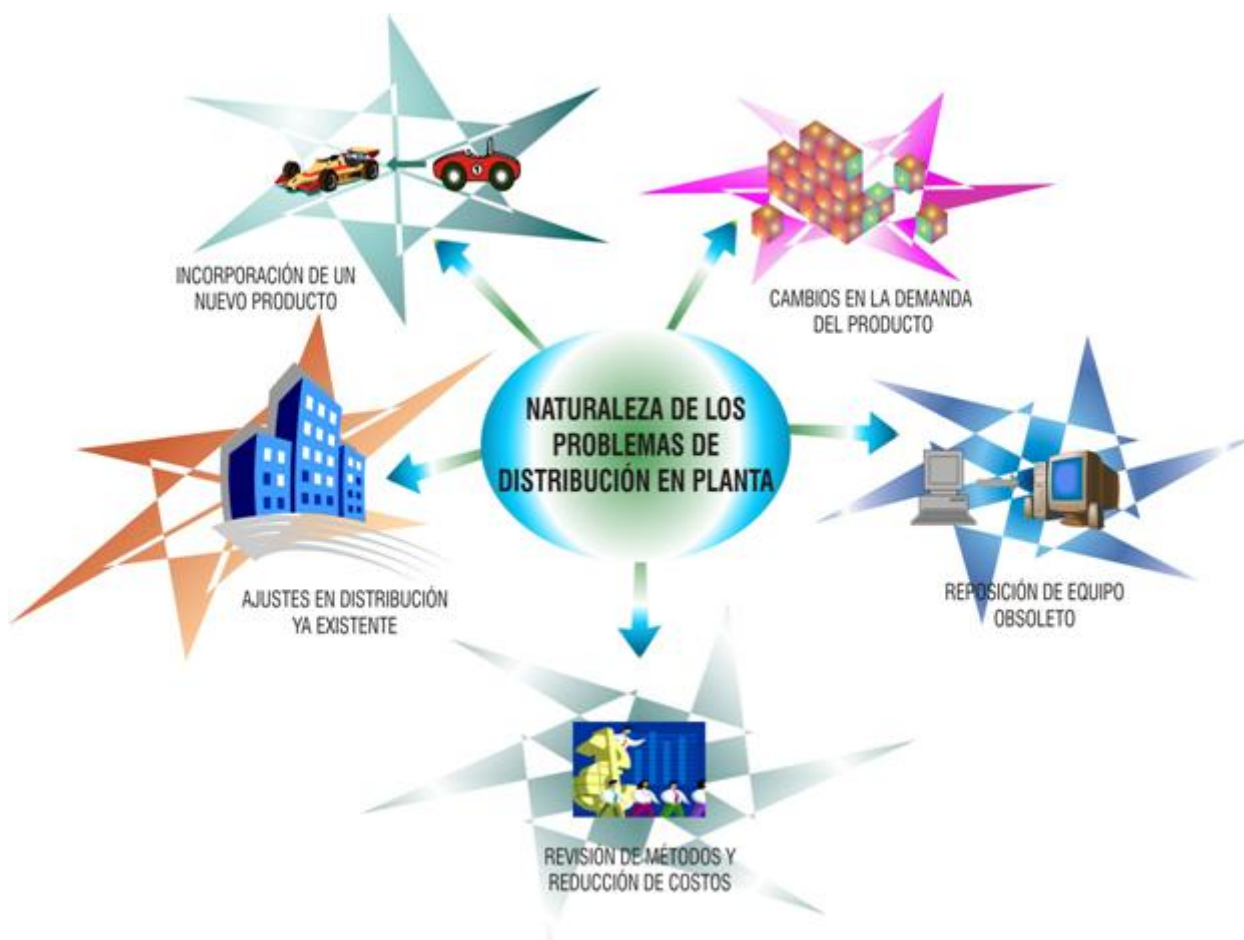


Figura 1.4.- Naturaleza de los problemas de distribución en planta
Fuente: Elaboración propia

1.6 NECESIDAD DE UNA DISTRIBUCIÓN EN PLANTA

Existen diversos motivos para realizar un rediseño de distribución de planta, esto es, cuando ya existe una distribución pero se detectan conflictos o surgen nuevas condiciones, por las que debe considerarse una nueva distribución en la planta, algunos de estos motivos pueden ser los mostrados en la figura 1.5:





Figura 1.5.- Necesidades de una distribución en planta
Fuente: Elaboración propia

Pero, ¿Cuál es la razón por la que conviene realizar un rediseño de la distribución? siendo una organización en la que todo funciona de la mejor manera, aparentemente, ¿Por qué interesaría cambiar? ¿Cuál es la necesidad de invertir en una distribución de planta nueva?

Estas son algunas de las cuestiones que se plantea el ingeniero industrial en la toma de decisiones, cuando una de las opciones que se le presentan para mejorar la productividad es precisamente un rediseño de la distribución. Los motivos entre otros, ya han sido mencionados anteriormente, y salen a la luz una vez que ya se ha identificado la necesidad de este rediseño, algunos de los factores que pueden disparar la atención sobre deficiencias ocasionadas por una mala distribución son de naturaleza heterogénea, pero todos responden a la misma razón, algunos de estos factores son tiempos muertos; deficiencias, quejas e inconformidades entre los empleados, ocasionadas por incongruencias en la secuencia de sus labores.

Por ejemplo, deben desplazarse de un departamento a otro o de un área a otra numerosas veces en el día, y dichas áreas no se encuentran siquiera cercanas, por lo que se utiliza tiempo indispensable y se realiza esfuerzo innecesario; no se consideraron costos de desplazamiento de material, materia prima o producto terminado; a pesar de que el espacio es suficiente, no se consigue distribuirlo adecuadamente, mientras que algunas áreas se encuentran semivacías, otras soportan una sobrecarga; en resumen, conflictos a los que no se les ve una solución inmediata, o que se les atribuyen distintas causas, pero ninguna a un costo conveniente y a un plazo relativamente corto.





Los resultados de una distribución favorable o de un buen rediseño, siempre son apreciables, debido a que es sencillo presentar la comparación entre las ventajas de la nueva distribución y la anterior, en términos de costos primordialmente. El principal motivo del arreglo de la planta es optimizar la distribución de máquinas, recursos humanos, materiales y servicios auxiliares, de manera que el valor creado por el sistema de producción sea elevado al máximo.

El término de fábrica o de una manera más general, planta fabril, significa un edificio o grupo de edificios provistos de equipo mecánico, herramientas y otros medios materiales necesarios para la producción de mercancías y servicios. El tamaño más favorable de una fábrica o una unidad industrial, puede examinarse desde varios puntos de vista, ya que esto es posible aunque puede variar mucho de una industria a otra (ver figura 1.6).

Una manera de averiguar este tamaño es hallar cual es la magnitud de la organización que utilizando los recursos, las técnicas de fabricación y la habilidad organizadora existentes, produce un costo unitario mínimo, cuando se incluyen todos los costos que tienen que estar comprendidos a lo largo de la operación.



Figura 1.6.- Tamaño de una planta
Fuente: Elaboración propia

El crecimiento, ya sea gradual o explosivo y el cambio son elementos esenciales en cualquier negocio tanto las instalaciones dedicadas a producción, como los edificios en que se encuentran, deben expandirse en concordancia con el incremento de las necesidades de la producción, nunca debe darse por sentado que se tiene la mejor distribución, puesto que los métodos, el manejo de los materiales y la ubicación de las máquinas siempre son susceptibles de mejoras.





1.6.1 Necesidad de una nueva distribución en planta

Existen una serie de signos o indicaciones que nos señalan si una distribución es deficiente, la entrega de mercancías con demora, confusión o deformidad general de la planta, existencia de hombres y maquinaria parada, son síntomas que indican la posibilidad de unas economías en potencia susceptibles de ser actualizados a través de una mejor distribución en planta (ver fig. 1.7).

El momento más lógico para un cambio en la distribución es cuando se estén realizando mejoras en los métodos, los cambios de métodos y las mejoras en el proceso, la maquinaria o equipo están estrechamente relacionados las buenas distribuciones se proyectan a partir de estos, los cuales a su vez están basadas en los procesos y métodos, siempre que un proyecto de distribución esté en su inicio se deberán reexaminar los métodos y procesos, cuando se vayan a adoptar nuevos métodos o instalar nueva maquinaria será un buen momento para evaluar de nuevo toda la distribución, puesto que al mismo tiempo que se realiza una redistribución se harán o podrán hacerse cambios en otras actividades, deberán tenerse presentes las condiciones siguientes:



Figura 1.7.- Necesidades para pensar en una nueva distribución en planta
Fuente: Elaboración propia

1. Departamento de recepción.

- ⊙ Congestión de materiales.
- ⊙ Problemas administrativos en el departamento.
- ⊙ Demoras de los camiones proveedores.
- ⊙ Excesivos movimientos con la mano ó remanipuleo.
- ⊙ Necesidad de horas extras.





2. Almacenes.

- ⊙ Demoras en los despachos.
- ⊙ Daños a materiales almacenados.
- ⊙ Áreas congestionadas.
- ⊙ Pérdidas de materiales.
- ⊙ Control de inventarios insuficientes.
- ⊙ Elevada cantidad de material.
- ⊙ Piezas obsoletas en inventarios.
- ⊙ Falta de materiales o piezas solicitadas por producción y/o mantenimiento.

3. Departamento de producción.

- ⊙ Operarios calificados que mueven materiales.
- ⊙ Frecuentes redistribuciones parciales de los equipos.
- ⊙ Materiales en el piso.
- ⊙ Quejas de supervisores por falta de espacio.
- ⊙ Congestión en pasillos.
- ⊙ Disposición inadecuada del centro de trabajo.
- ⊙ Tiempos de movimiento de materiales elevados, con respecto al tiempo de procesamiento.
- ⊙ Máquinas paradas en espera del material a procesar.
- ⊙ Frecuentes interrupciones en la producción por fallas de algunas máquinas.

4. Expedición.

- ⊙ Mala comunicación con el departamento de producción.
- ⊙ Demoras en los despachos.
- ⊙ Roturas o pérdidas de materiales.

5. Ambiente.

- ⊙ Condiciones inadecuadas de iluminación ventilación, ruido, limpieza, etc.
- ⊙ Muchos accidentes.
- ⊙ Alta rotación de personal.

6. Generales.

- ⊙ Programa de producción desorganizado.
- ⊙ Poco interés del personal.
- ⊙ Muchos gastos indirectos.

7. Expansión de la producción.

- ⊙ Muchas plantas pequeñas de la actualidad mañana serán sin duda, fábricas de tamaño medio, gran parte de éste crecimiento será gradual y constante.
- ⊙ Satisfacción de necesidades de los clientes.





8. Nuevos métodos.

- ⊙ Las plantas pequeñas están sujetas a muchos avances tecnológicos, si sus métodos no se mantienen al día y se vuelven sumamente vulnerables.

9. Nuevos productos.

- ⊙ Aún en el caso de que para su fabricación se utilicen las máquinas y los procesos existentes, pueden surgir nuevos problemas de manejo de materiales que con toda seguridad, aumentarán la presión sobre el espacio para fabricación con que se cuenta, es posible lograr una fuerte ventaja si se emprende la producción de un nuevo artículo sin tener que invertir una gran cantidad de tiempo y dinero en espacio adicional.

10. Edificio nuevo.

- ⊙ La función principal de un edificio nuevo, es permitir la distribución más eficiente de todas las instalaciones, en este caso se tiene la oportunidad de eliminar todos aquellos aspectos estructurales y de diseño que le han venido modificando de su edificio actual, para ello se requiere pensar y planear acuciosamente en las necesidades del futuro, ya que el diseño del nuevo edificio debe facilitar el crecimiento y la expansión que lleguen a ser necesarios, y permitir toda la flexibilidad que se requiera, según las características de la industria.

11. Necesidad de reducir costos.

- ⊙ Seguramente sus costos unitarios de producción subirán durante éste período, por lo que es imperativo diseñar métodos más eficientes y una mejor distribución de todos los recursos de producción.
- ⊙ Los beneficios intangibles de costo, derivados de una mejor distribución y un mejor manejo de materiales, pueden ofrecer una solución óptima, donde los procesos de manufactura ya están bastante refinados, y donde sería sumamente difícil aparte de costoso lograr una reducción adicional en estas áreas.

1.6.2 Por qué hacer una distribución en planta

Es de gran ayuda determinar la disposición de una fábrica, existente o en proyecto, saber donde colocar las máquinas y demás equipo de manera que permita a los materiales avanzar con mayor facilidad, al costo más bajo y con el mínimo de manipulación desde que se reciben las materias primas hasta que se despachan los productos terminados, debe tomarse en cuenta asegurar la eficiencia, seguridad y comodidad de los ambientes de trabajo, encontrando una distribución en las áreas y en el equipo a utilizar, de la forma mas conveniente y económica. En la tabla 1.1 se muestran algunos puntos importantes para pensar la disposición e la fábrica.





Tabla 1.1.- Puntos a pensar para determinar la disposición de la fábrica

PUNTOS A PENSAR AL DETERMINAR LA DISPOSICIÓN DE LA FÁBRICA
⊙ Facilitar el proceso de manufactura.
⊙ Facilitar y minimizar el movimiento y manejo de materiales entre operaciones.
⊙ Asegurar una alta rotación de materiales en proceso.
⊙ Optimizar la mano de obra.
⊙ Minimizar la inversión en equipos.
⊙ Optimizar el espacio disponible.
⊙ Mantener la flexibilidad adecuada, por expansión ó aumentos de volumen producción.
⊙ Lograr una supervisión efectiva y eficiente.
⊙ Reducir el inventario de artículos terminados requeridos para satisfacer la demanda.

Fuente: Elaboración propia

1.6.3 Beneficios de una buena distribución

En la figura 1.8 se muestran los beneficios que se obtiene al contar con una buena distribución, los cuales a continuación se da una explicación breve de los mismos.

- **Reducen los riesgos de enfermedades profesionales y de accidentes de trabajo.** Eliminan las herramientas en los pasillos; los pasos peligrosos, la posibilidad de resbalones, los lugares insalubres, la mala ventilación, etc.
- **Mejora la moral y se da mayor satisfacción al obrero.** Evita el sol de frente; las sombras en el lugar de trabajo, se muestra a los trabajadores que la dirección se interesa por sus “pequeños problemas”.
- **Aumenta la producción.** Aún cuando sigan existiendo tiempos ociosos, y retrasos, al disminuirse el número de horas del proceso, se aumenta la productividad.
- **Obtiene un menor número de retrasos.** Equilibra las operaciones y por ende evita que los materiales, los hombres y las máquinas tengan que esperar.
- **Mayor espacio.** Al disminuirse las distancias de recorrido y distribuir mejor los pasillos, almacenes, equipo y hombres, se aprovecha mejor el espacio, o al utilizar varios niveles se obtienen ahorros en las superficies.
- **Reduce el manejo de materiales.** Reagrupando el equipo por procesos y operaciones se acortan las distancias.
- **Utiliza mejor la maquinaria, la mano de obra y los servicios.** Si la mano de obra es costosa debe emplearse mejor su tiempo, por el contrario si la mano de obra es barata pero el equipo y los materiales son costosos se debe buscar el mejor aprovechamiento de éstos.





- **Acorta el material en proceso.** Surgir una secuencia lógica y al disminuir las distancias el material permanece menos tiempo en el proceso, obteniendo una disminución en las demoras.
- **Fabrica más rápido.** Puesto que se disminuyen las distancias, demoras y almacenamientos innecesarios, el producto estará listo para la venta más rápidamente, deben procurarse eliminar los almacenamientos intermedios para obtener un flujo continuo del material.
- **Minimiza el trabajo de oficina, y se emplea mejor la mano de obra.** Al seguir el proceso un flujo bien determinado se puede reducir la preparación de órdenes y de programas.
- **Se obtiene una vigilancia mejor y más fácil.** Aumenta el área de visión, necesitando los contra-maestros moverse menos para supervisar, se puede determinar fácilmente en que punto del proceso se produce un retardo.
- **Existe una menor congestión.** Evitar los retrasos y los cruces de procesos, elimina la confusión, se tiene el espacio adecuado para cada operación.
- **Reducen los riesgos de deterioro del material y se aumenta la calidad del producto.** Separando las operaciones se reducen las influencias nocivas de unas a otras, se separan las operaciones delicadas de las que pueden causar daños; las operaciones que producen vapores, gases, polvos, vibraciones, se separan de las que resisten con estos.
- **Facilita el ajuste al variar las condiciones.** Al prever las ampliaciones, los aumentos de demanda o reducciones del mercado se eliminan los inconvenientes de las expansiones o disminuciones de la planta.
- **Un control de costos mejor y más fáciles.** Agrupando procesos similares, se facilita la contabilidad de costos.
- **Facilita el mantenimiento del equipo.** Conjuntando equipos similares, y al separarlos de otros que los pueden dañar, aumenta la vida del equipo y facilitan las reparaciones. Por ejemplo, las rotativas de los periódicos.
- **Aumenta el número de obreros que pueden beneficiarse con sistemas de incentivos.** Se les puede aplicar a operaciones que antes estaban desarticuladas. Es más fácil determinar la eficiencia y efectos de las operaciones de la mano de obra indirecta.
- **Se obtiene un mejor aspecto de las zonas de trabajo.** Mejorando la impresión que reciban los visitantes a la planta y obteniéndose un efecto psicológico muy favorable entre el personal. Por ejemplo; en la fábrica embotelladora que esta a la vista del público.
- **Se obtienen mejores condiciones sanitarias.** Que son indispensables tanto para la calidad de ciertos productos, como los de la industria alimenticia, favorecer la salud de los empleados.



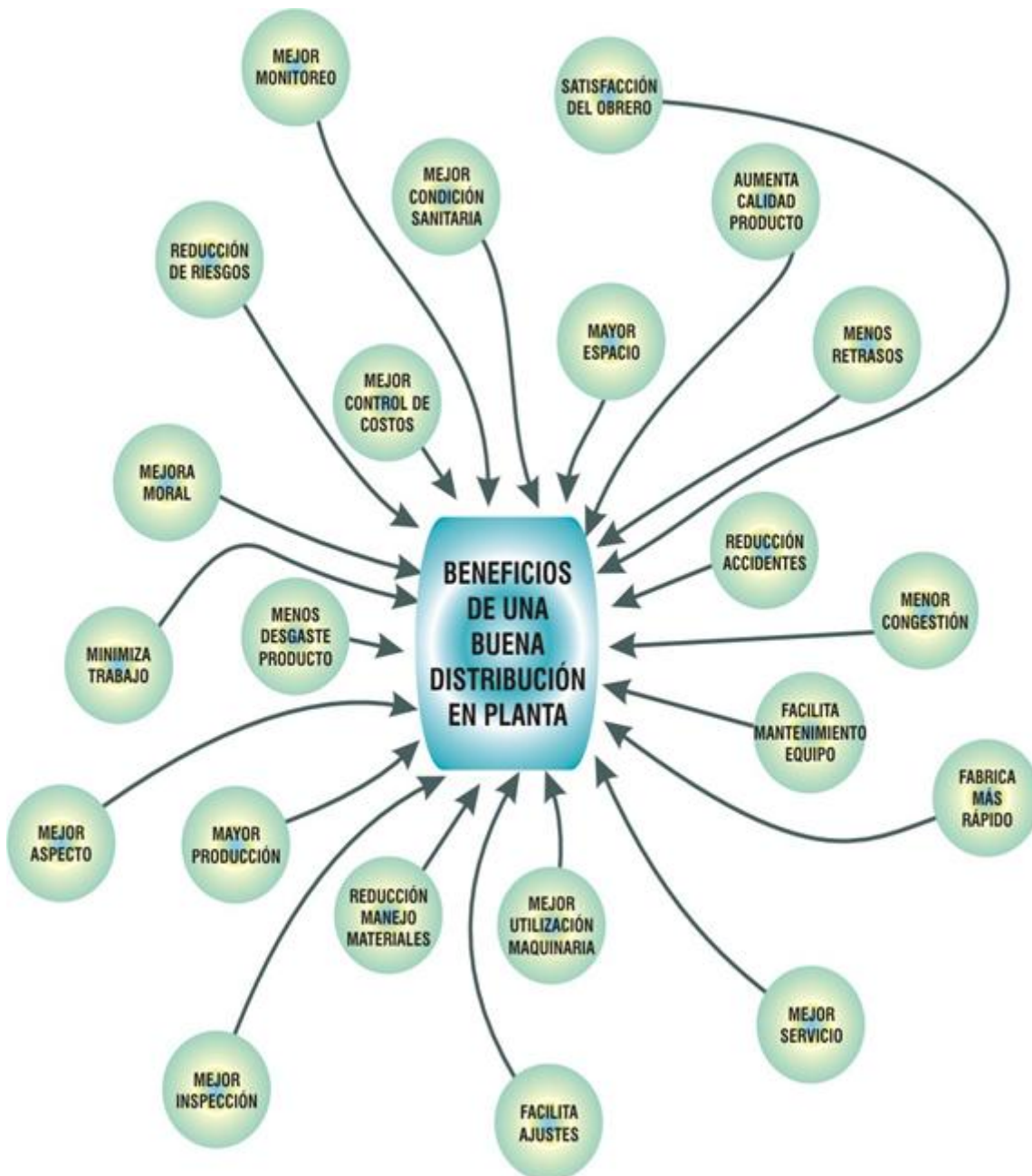


Figura 1.8.- Beneficios de una buena distribución en planta
Fuente: Elaboración propia

1.6.4 Síntomas para pensar en una mejora en la distribución en planta

Si un tercio de estos apartados requieren de una respuesta afirmativa (SI), existen muchas posibilidades de obtener beneficios mejorando la distribución.

Si dos tercios de estos apartados requieren una respuesta afirmativa (SI), los beneficios de una redistribución son satisfactorios.





1. Material.

- ⊙ Alto porcentaje de piezas rechazadas.
- ⊙ Grandes cantidades de piezas averiadas, estropeadas o destruidas en proceso, pero no en las operaciones productivas.
- ⊙ Entrega ínter departamental lenta.
- ⊙ Artículos voluminosos, pesados o costosos, movidos a mayores distancias que otros más pequeños más ligeros o menos caros.
- ⊙ Material que se extravía o que pierde su identidad.
- ⊙ Tiempo muy prolongado de permanencia del material en proceso, contra el tiempo real.

2. Maquinaria.

- ⊙ Maquinaria inactiva.
- ⊙ Muchas averías de maquinaria.
- ⊙ Maquinaria anticuada.
- ⊙ Equipo que causa excesiva vibración, ruido, suciedad, vapores.
- ⊙ Equipo demasiado largo, alto, ancho o pesado para su ubicación.
- ⊙ Maquinaria y equipo inaccesibles.

3. Hombre.

- ⊙ Condiciones de trabajo poco seguras o elevada proporción de accidentes.
- ⊙ Área que no se ajusta a los reglamentos de seguridad, de edificación o contra incendios.
- ⊙ Quejas sobre condiciones de trabajo incómodas.
- ⊙ Excesiva rotación de personal.
- ⊙ Obreros de pie, ociosos o paseando gran parte de su tiempo.
- ⊙ Equívocos entre operarios y personal de servicios.
- ⊙ Trabajadores calificados pasando gran parte de su tiempo realizando operaciones de servicio.

4. Movimiento, manejo de materiales.

- ⊙ Retrocesos y cruces en la circulación de los materiales.
- ⊙ Operarios calificados o altamente pagados realizando operaciones de manejo.
- ⊙ Gran proporción del tiempo invertido en recoger y dejar materiales o piezas.
- ⊙ Frecuentes acarreos y levantamientos a mano.
- ⊙ Frecuentes movimientos de levantamiento y traslado que implican esfuerzo.
- ⊙ Operarios esperando a sincronizarse con el equipo de manejo.
- ⊙ Traslados de larga distancia y demasiado frecuentes.
- ⊙ Equipo de manejo inactivo y/o manipulación ociosa.
- ⊙ Congestión en los pasillos y manejo excesivo y transferencias.
- ⊙ Alto tiempo en elevadores.





5. *Espera, almacenamiento.*

- ⊙ Se observan grandes cantidades de almacenamiento de todas clases.
- ⊙ Gran número de pilas de material en proceso esperando.
- ⊙ Confusión, congestión, zonas de almacenajes disformes o muelles de recepción y embarque atiborrados.
- ⊙ Operarios esperando material en los almacenes o en los puestos de trabajo.
- ⊙ Poco aprovechamiento de la tercera dimensión en las áreas de almacenaje.
- ⊙ Materiales averiados o mermados en las áreas de almacenamiento.
- ⊙ Elementos de almacenamientos inseguros o inadecuados.
- ⊙ Manejo excesivo en las áreas de almacén o repetición de las operaciones de almacenamiento.
- ⊙ Frecuentes errores en las cuentas o en los registros de existencias.
- ⊙ Elevados costos en demoras y esperas de los conductores de carretillas.

6. *Servicio.*

- ⊙ Personal pasando por los vestuarios, lavabos o entradas y accesos establecidos.
- ⊙ Quejas sobre instalaciones por inadecuadas.
- ⊙ Puntos de inspección o control en lugares inadecuados.
- ⊙ Inspectores y elementos de inspección y prueba ociosos.
- ⊙ Entregas retrasadas de material a las áreas de producción.
- ⊙ Número grande de personal empleado en la recogida de rechazos y desperdicios.
- ⊙ Demoras en las reparaciones.
- ⊙ Costos de mantenimiento indebidamente altos.
- ⊙ Líneas de servicios auxiliares que se rompen o averían frecuentemente.
- ⊙ Elevada proporción de empleados y personal de servicio en relación con los trabajadores de servicio.
- ⊙ Número excesivo de reordenaciones del equipo, precipitadas o de emergencia.
- ⊙ Trabajadores realizando sus propias ampliaciones o modificaciones en el cableado, tuberías, conductos u otras líneas de servicio.

7. *Edificio.*

- ⊙ Paredes u otras divisiones separando áreas con productos, operaciones o equipos similares.
- ⊙ Abarrotamiento de los montacargas o excesiva espera de los mismos.
- ⊙ Pasillos principales, pasos y calles, estrechos o torcidos.
- ⊙ Edificios esparcidos sin seguir ningún patrón.
- ⊙ Trabajadores interfiriéndose unos en el camino de otros, almacenamiento o trabajo en los pasillos, áreas de trabajo abarrotadas, especialmente si el espacio en las áreas colindantes es abierto.





8. Cambio.

- ⊙ Cambios anticipados o corrientes en el diseño del producto, materiales, producción, variedad de productos.
- ⊙ Cambios anticipados o corrientes en los métodos, maquinaria o equipo.
- ⊙ Cambios anticipados o corrientes en el horario de trabajo, estructura de la organización, escala de pagos o clasificación del trabajo.
- ⊙ Cambios anticipados o corrientes en los elementos de manejo y de almacenaje, servicios de apoyo a la producción.

1.6.5 Preguntas para encontrar el mejor camino a la distribución en planta

Las preguntas propuestas que ayudarán a cerciorarse de que se ha realizado todo esfuerzo racional para obtener “el mejor camino” en la planificación de una buena distribución en planta son las siguientes:

1. Empleo y distribución del espacio

- ⊙ ¿Hay espacio suficiente para que el operario lleve a cabo todas sus tareas junto a la máquina?
- ⊙ ¿Hay espacio suficiente alrededor de la máquina para su fácil mantenimiento?
- ⊙ ¿Está la máquina bloqueada por otras, de modo que no puede moverse sin mover antes éstas últimas?
- ⊙ ¿Hay espacio para las herramientas, equipo auxiliar, calibres, plantillas, mesas, armarios de herramientas y similares necesarios para el funcionamiento adecuado de la máquina?
- ⊙ ¿Hay espacio suficiente para los materiales mecanizados y sin mecanizar?
- ⊙ ¿Es la máquina accesible de manera que el obrero pueda llegar a su puesto de trabajo y abandonarlo, sin peligro de lesionarse?
- ⊙ ¿Está la máquina demasiado cerca del pasillo o de los transportadores peligrando la seguridad del operario?
- ⊙ ¿Se ha concedido demasiado espacio, de tal forma que el operario resulta ineficiente?

2. Factores de colocación de máquinas

- ⊙ ¿Está la máquina en la mejor posición o ángulo para la alimentación y evacuación efectivas de materiales, o para el aprovechamiento efectivo del espacio?
- ⊙ ¿Está la máquina en la mejor posición para recibir la luz natural y artificial?
- ⊙ ¿Somete la posición de la máquina al operario a un exceso de calor producido por sus operaciones o por otras?
- ⊙ ¿Ha de soportar ruido excesivo causado por otras operaciones?





- ⊙ ¿Está la máquina en la mejor posición desde el punto de vista de seguridad, para prevenir accidentes debidos a fuego, explosiones, partículas proyectadas, carretillas y grúas en movimiento, transportadores elevados, etc.?
- ⊙ ¿Está la máquina colocada en forma adecuada en relación con la secuencia de operaciones?

3. *Servicios*

- ⊙ ¿La colocación de la máquina es tal que puedan adaptársele los servicios especiales, vapor, fuerza, aire comprimido, gas y similares sin excesivas instalaciones complementarias?
- ⊙ ¿Se han previsto aparatos protectores, cubiertas, defensas, pantallas, aisladores y similares, para proteger al operario y que protejan al personal y al equipo?
- ⊙ ¿Se han destinado demasiado espacio a los pasillos?
- ⊙ ¿Tienen los pasillos gran número de curvas y obstrucciones?
- ⊙ ¿Sirve cada pasillo el número máximo de máquinas?
- ⊙ ¿Hay demasiados pasillos?
- ⊙ ¿Están señalados clara y correctamente?
- ⊙ ¿Son suficientemente amplios para el volumen de tránsito que se espera?
- ⊙ ¿Son suficientemente anchos para facilitar la manipulación de las carretillas llevando las cargas previstas?

4. *Áreas de almacenamiento*

- ⊙ ¿Están las estanterías de herramientas y áreas de almacenamiento en situación conveniente?
- ⊙ ¿Están las áreas de almacenamiento que han de frecuentar los empleados, a excesiva distancia de sus puestos de trabajo?
- ⊙ ¿Proporcionan protección contra el hurto o pérdida de los materiales de alto valor?
- ⊙ ¿Se han previsto condiciones de almacenamiento especiales para pinturas, aceites, ácidos, botellas de gas, productos químicos, sustancias inflamables o explosivas y otros materiales especiales?
- ⊙ ¿Complica la colocación de las áreas de almacenamiento la recepción y registro de los materiales entrantes?
- ⊙ ¿Requiere la colocación de las áreas de almacenamiento, largos recorridos de grandes volúmenes de material?
- ⊙ ¿Permite el empleo de sistemas de manejo mecánicos?
- ⊙ ¿Se ha previsto la inspección de los materiales entrantes?
- ⊙ ¿Se perderá excesivo tiempo en idas y venidas de los empleados al almacén?





5. Servicios para el personal

- ⊙ ¿Se ha instalado un número suficiente de baños, vestuarios y lavabos?
- ⊙ ¿Están los baños, vestuarios y lavabos a menos de 61 metros de los puestos de trabajo del personal?
- ⊙ ¿Están las entradas del personal demasiado lejos de sus puestos de trabajo?
- ⊙ ¿Se han previsto tomas de agua potable a cortos intervalos?
- ⊙ ¿Están colocados los botiquines o dispensarios en la forma conveniente respecto a las zonas de trabajo?

1.7 COSTOS DE UNA DISTRIBUCIÓN EN PLANTA

La distribución física es uno de los costos más grandes en lo que respecta a la manufactura y a la venta de mercancía, los costos han tendido a aumentar con los años en términos de la mediación por medio de la unidad de producto (cajas, piezas o peso). Los siguientes han sido factores importantes en este aumento de precios:

- ➔ **La disminución a largo plazo, en el peso de la unidad.** Lo cual se debe a que las estructuras metálicas y los controles mecánicos se han sustituido con plásticos y dispositivos electrónicos, así como a la proliferación de material protector y decorativo.
- ➔ **El aumento en la cantidad de los diferentes artículos que se ofrecen al cliente.** Lo que provoca que se distribuya un menor número de piezas por cada número de catálogo.
- ➔ **Los controles de inventario y hábitos de compras refinados.** De manera que los clientes compren menos cantidad de piezas con un patrón de pedidos de mayor frecuencia.

Sin embargo, cuando se les ha medido como una razón de las ventas, los costos de distribución han resultado cíclicos, los costos responden a un gran número de influencias externas, tales como cuotas de energía, niveles de servicio, tasas de interés, costos y tarifas de transporte, precios competitivos y normas en general de la compañía.

La disposición ideal de una planta debería minimizar los costos totales o los costos de funcionamiento a largo plazo, esto incluye no sólo los costos obviamente afectados por la distribución (ver figura 1.9), como el manejo de los materiales por ejemplo, sino también gran cantidad de costos que es muy probable que no sean tomados en cuenta. Algunos de los más importantes costos que debemos considerar son los siguientes:





Figura 1.9.- Costos importantes al realizar la distribución en planta
Fuente: Elaboración propia

- **Manejo de materiales.** Este es con toda seguridad el mayor costo afectado directamente por la disposición de la planta, para minimizarlo, la planta debe estar lo más mecanizada posible, evitando manipulaciones manuales, tanto como lo permitan la propia planta y los productos afectados, el flujo de los materiales debe discurrir de manera regular desde la recepción y el almacenaje de las materias primas y semielaboradas hasta la entrega pasando por las operaciones de producción.
- **Los edificios.** Abarcan la forma o figura necesaria para lograr la función, los materiales con los que hay que construir, así como el diseño o la solución para que materiales y forma tengan una estructura armónica, económica y segura.
- **Los servicios.** Incluyen elementos tales como electricidad, aire, calor, luz, gas, drenaje y desperdicios, la distribución, acumulación o dispersión de los mismos así como los conductos a que se utilizarán para distribuirlos.
- **Redistribución y ampliación.** Puede preverse una ampliación o un cambio de la distribución en el futuro, el plan debería tener en cuenta estos cambios disponiendo líneas de electricidad, agua y alcantarillado que en principio no se utilizarían, pero que aumentarían sensiblemente la flexibilidad.





- **Utilización económica del espacio disponible.** Los ingresos que se obtengan del funcionamiento de la planta deben pagar las inversiones, la calefacción, la iluminación y el mantenimiento de cada metro cuadrado de terreno disponible, esto se refiere tanto a los que se utilizan para la producción como a los que no se utilizan, se debe minimizar las distancias entre máquinas, partes del equipo y hacer el mejor uso de la altura de techo disponible.
- **Seguridad.** Si las condiciones de trabajo no son seguras costarán a la empresa mucho dinero, pues será más caro el seguro de los trabajadores y habrá más quejas de los sindicatos, si se adquiere la reputación de que se trabaja en condiciones arriesgadas pueden tenerse problemas a la hora de contratar personal, al estudiar una distribución en planta, deben tenerse permanentemente en cuenta las condiciones bajo las cuales van a trabajar los obreros y los empleados, hacer todo lo posible para eliminar las proyecciones de las máquinas o de los equipos que puedan molestar o lesionar a la gente, la maquinaria ruidosa debe ser aislada, deben ser evitados los cruces peligrosos en los que puedan ocurrir colisiones entre carretillas elevadoras y trabajadores.
- **Las comunicaciones.** Engloban la información, es decir, hechos, cifras, ideas, instrucciones y peticiones, la transmisión de la información de un grupo o individuo a otro y los medios para transmitir la información.

La integración de estos componentes fundamentales, resultan en un elemento básico para llevar a cabo planos de instalación eficientes. Los costos de distribución varían según el producto, el valor de éste y el tamaño de la compañía y se muestran en la figura 1.10:

1. **Producto.** El costo de distribución, como un porcentaje de las ventas, tienen una fuerte tendencia central sobre una gran variedad de productos, las razones de la semejanza de los costos son la importancia relativa de las tarifas de los fletes, el interés sobre el capital invertido, las tasas salariales, las rentas de los edificios y la energía. Las compañías tienden a comparar sus costos de distribución de productos, con los de su competencia, con ello pierden la oportunidad de aprender de otras industrias.
2. **Valor del producto.** Existe una importante relación inversa del costo de distribución con respecto al valor del producto por peso unitario, los productos pequeños de poco peso y gran valor, como es el caso de la joyería, los productos farmacéuticos y los electrónicos, suelen tener costos de flete bajos en comparación con los materiales pesados y voluminosos, tales como la comida, maquinaria y aparatos para el consumidor, esta ventaja se compensa en parte con los inventarios grandes y más costosos, así como con los costosos procedimientos del manejo de pedidos relacionados con los productos de alto valor.





3. **Tamaño de la compañía.** El tamaño es un factor complicado, muchas compañías grandes tienden a establecer tasas salariales más altas que las compañías pequeñas, sin embargo los grandes distribuidores suelen tener la ventaja en las negociaciones cuando tratan con los transportistas y demás proveedores tienden a reducir los costos tanto del flete como de los materiales, al final uno de los aspectos más interesantes del costo de distribución es la semejanza del costo total en todos los productos, los continentes y los tamaños de las compañías, es probable que esto se deba a la aplicación casi universal de las técnicas comunes de ingeniería industrial.



Figura 1.10.- Variación de los costos de distribución
Fuente: Elaboración propia

1.7.1 Estimación de los costos de la nueva distribución

Costos de inversión que deberán ser considerados al proyectar una distribución.

a) *Costo inicial de nuevos elementos:*

- ⊙ Edificios.
- ⊙ Construcciones.
- ⊙ Maquinaria.
- ⊙ Equipo.





b) Costos accesorios:

- ⊙ Herramientas.
- ⊙ Equipo de manejo de materiales.
- ⊙ Recipientes y bandejas.
- ⊙ Bancos y sillas.
- ⊙ Relojes, refrigeradores de agua, etc.
- ⊙ Estanterías, soportes para almacén, etc.
- ⊙ Instalación eléctrica, de tuberías.
- ⊙ Equipo de oficina.
- ⊙ Trabajo de oficina o diseño.

c) Costos de instalación:

- ⊙ Cambios de edificio.
- ⊙ Maquinaria y equipo.
- ⊙ Elementos de los servicios auxiliares.
- ⊙ Líneas de servicio auxiliar.

d) Costo de depreciación y de uso:

- ⊙ Equipo de transporte.
- ⊙ Maquinaria en general.
- ⊙ Edificio.

Costos de operación o funcionamiento que deberán ser considerados al proyectar una distribución.

a) Material:

- ⊙ Producción.
- ⊙ Desechos o desperdicios.
- ⊙ Suministros y embalaje.
- ⊙ Piezas y materiales de mantenimiento.

b) Trabajo (mano de obra):

- ⊙ Directo.
- ⊙ Suplemento por horas o turnos especiales.
- ⊙ Tiempo ocioso o de espera.
- ⊙ Variación de eficiencia.
- ⊙ Administrativo.
- ⊙ Mantenimiento.





- ⊙ Inspección.
- ⊙ Manejo y almacenamiento.
- ⊙ Supervisión.

c) *Generales:*

- ⊙ Superficie ocupada.
- ⊙ Energía eléctrica.
- ⊙ Combustible.
- ⊙ Impuestos.
- ⊙ Seguros.
- ⊙ Intereses de la inversión.

1.7.2 Costos directos

Equipo nuevo. Incluye todos los desembolsos para la compra y entrega de máquinas nuevas en la planta, equipo para el manejo de materiales, bancos de trabajo y demás accesorios de producción que requiera el nuevo plan.

Modificaciones estructurales y nuevas construcciones.

- Horarios de ingeniería y legales.
- Seguros e impuestos.
- Cargos de intereses sobre la nueva distribución.
- Costo del proyecto en sí.

Modificaciones a los servicios. Cualquier modificación en los servicios debe detallarse con toda claridad y estimarse el costo o valor del trabajo contratado, debemos considerar también la desconexión de las máquinas que van a trasladarse y su reconexión a todas las instalaciones una vez que han quedado colocadas en su nueva ubicación, en muchos casos esto puede ascender a más del costo de traslado de la misma máquina.

Costo de traslado de las máquinas. Depende de lo siguiente:

- Número de máquinas que tengan que moverse.
- La distancia involucrada.
- Dimensiones y peso de las máquinas.
- La capacidad del personal de planta para realizar estas maniobras.
- Renta de grúas, montacargas y demás equipo necesario con o sin operador.





1.7.3 Economías en la nueva distribución

Comparar los costos unitarios de producción. Ciertamente no hay mejor objetivo para una nueva distribución que el lograr una producción eficiente a costo mínimo, una prueba de que la nueva distribución es realmente efectiva son los costos unitarios, puesto que de esta manera pueden observarse si ciertos factores de costos que estén fuera de proporción, y si es posible reducir éstos con equipo nuevo o con cambios en la distribución, esta meta solo puede cuantificarse mediante la implantación de controles efectivos, diseñados para el nivel de producción en cuestión y al sistema de cada organización en particular, las máximas economías en el nuevo sistema serán consecuencia de la utilización adecuada de estos controles más que de cualquier otra mejoría en la distribución y el equipo, bien sea que el cambio implique una nueva máquina o toda una planta ya que a largo plazo resulta más aceptable, los costos unitarios deben estimarse para las distribuciones propuestas, lo que presupone, que es posible establecer la proporción adecuada de mano de obra indirecta, gastos generales y otros renglones no cargados a operaciones específicas.

Empleo de índices de relación. Una disminución en costos es un incremento en utilidades, esto puede medirse con cuatro índices principales que se muestran en la figura 1.11, cabe resaltar que lo verdaderamente importa es el empleo de aquellos índices que proporcionen los indicadores que tengan el máximo significado para cada empresa en particular.

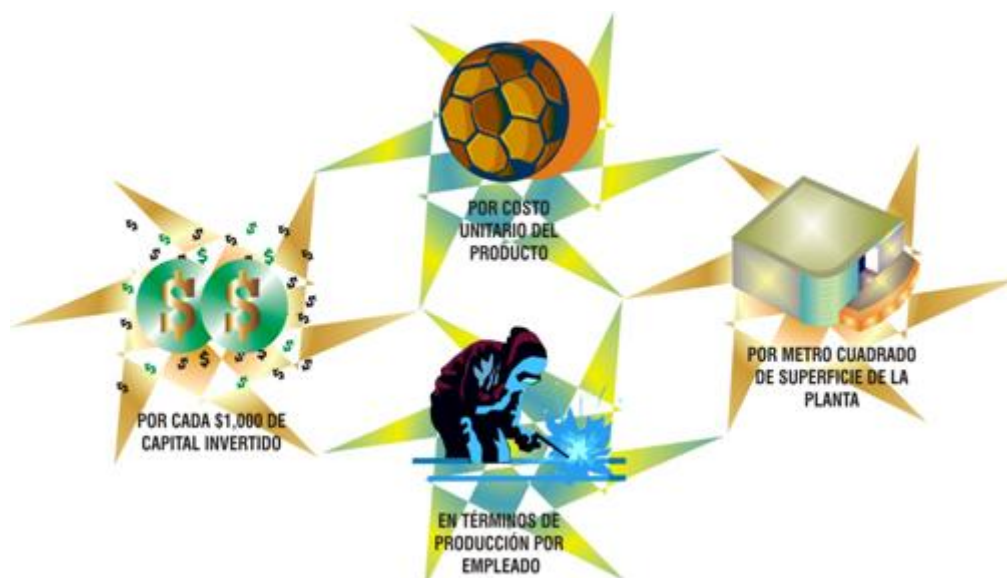


Figura 1.11.- Índices de relación
Fuente: Elaboración propia





1.7.4 Evaluación de la nueva distribución

El criterio que se aplica para evaluar trazados alternativos es el flujo de materiales, personas e información, para que se pueda usar como criterio de la evaluación, el flujo debe ser medible, además de considerar las clasificaciones generadas por las técnicas gráficas y auxiliadas por computadoras los principios del flujo son reglas que, cuando se aplican correctamente generalmente dan lugar a un flujo eficiente y son los siguientes:

- Maximizar el uso de vías de flujo dirigidas.
- Minimizar el flujo.
- Minimizar los costos del flujo.

Comparación de costos: El método más substancial para evaluar las distribuciones de planta es el comparar costos o análisis financiero, en la mayoría de los casos si el análisis de costos no es la base principal para tomar una decisión se usa para suplementar otros métodos de evaluación.

La razón principal para efectuar un análisis de costos es; *Justificar* un proyecto en particular y comparar las alternativas propuestas.

El preparar un análisis de costos implica: considerar el costo total involucrado o solo aquellos costos que se afectarán por el proyecto, lo anterior puede ser un factor muy importante para la toma de decisiones ya que hay veces los directivos toman en cuenta la inversión en el proyecto



CAPÍTULO 2

TIPOS DE DISTRIBUCIÓN EN PLANTA

2.1 ANTECEDENTES

El principal objetivo de la distribución efectiva del equipo en la planta es desarrollar un sistema de producción que permita la fabricación del número de productos deseados, con la calidad también deseada y al menor costo posible, por tanto la distribución del equipo es un elemento importante de todo un sistema de producción que abarca las tarjetas de operación, control de inventarios, manejo de materiales, programación, recorrido y despacho del trabajo, donde todos estos elementos deben ser integrados cuidadosamente para alcanzar la meta establecida.

No existe un tipo de distribución que tienda a ser el mejor o el estándar a seguir; una cierta distribución puede ser la mejor en un conjunto de condiciones y ser completamente inadecuada en un conjunto de condiciones similares o diferentes, ya que las condiciones de trabajo rara vez son estáticas, el analista de métodos con frecuencia tiene la oportunidad de hacer mejoras en la distribución del equipo.

Resulta difícil y costoso hacer cambios en disposiciones que ya existen, el analista de métodos debe adiestrarse en revisar con ojo crítico toda porción de cada distribución que considere,





desafortunadamente la mayoría de estos costos son ocultos y en consecuencia no pueden ser expuestos con facilidad, los costos de mano de obra indirecta correspondientes a movimientos de gran distancia, regresos, demoras y suspensiones del trabajo debidos a congestionamientos, son característicos de una planta con una distribución de equipo anticuada.

2.2 CONSTRUCCIÓN DEL PLAN LAYOUT

El plan layout es el ordenamiento físico de los elementos de la producción, tomando en cuenta sus características y aquellos factores que inciden enormemente en su funcionamiento, entendiendo dichos factores como el flujo de materiales, y todos requerimientos de espacios; una vez seleccionada la distribución general de la instalación, los detalles se presentan mediante planos de distribución, estos pueden ser representaciones de dos o tres dimensiones; las de dos dimensiones incluyen dibujos hechos a mano, distribuciones a base de plantillas y distribuciones impresas por computadora, los dibujos hechos a mano pueden ser el mejor método para distribuir áreas pequeñas, sin embargo, su elaboración y modificación resultan demasiado costosas para que se puedan usar como planos finales de distribución de áreas extensas.

El método más común para elaborar planos de distribución de grandes instalaciones consiste en usar plantillas y cintas. Las plantillas se pueden hacer o comprar y pueden ser de bloque o de contorno; una plantilla de bloque no es más que un rectángulo rotulado que representa la longitud y anchura máxima del equipo y la plantilla de contorno ilustra la forma y el espacio que requieren las partes móviles de las máquinas ver figura 2.1:

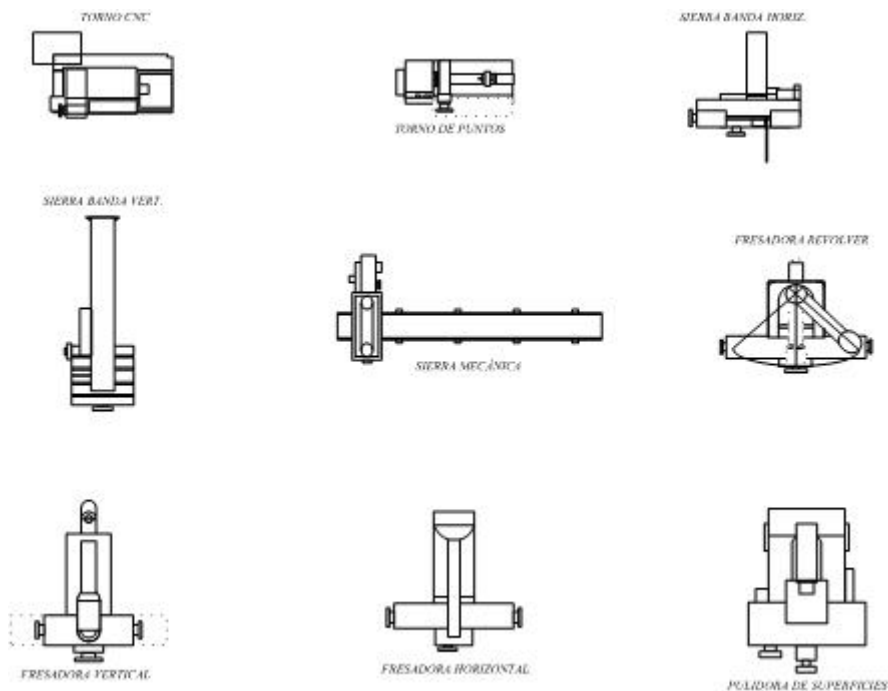


Figura 2.1.- Muestras de figuras para realizar una distribución en planta

Fuente: Elaboración propia.





Una vez que se tienen todas las plantillas necesarias se procede a preparar una distribución tentativa, puede obtenerse una buena distribución si se tiene especial cuidado en considerar los principios fundamentales para una distribución eficiente, y de proporcionar suficiente capacidad de producción en cada estación de trabajo sin introducir cuellos de botella y sin interrupciones del flujo de producción.

Después de haber diseñado una distribución ideal, es conveniente preparar también un flujograma² del plan propuesto para hacer resaltar la reducción de las distancias por recorrer, los almacenamientos, las demoras y los costos globales, esto facilitará en gran parte la aprobación final del proyecto. Una buena técnica para poner a prueba la distribución en la planta es hacer pasar hilos de color sobre las tachuelas de mapa que sostienen las plantillas, y seguir la circulación del producto desde sus componentes de materia prima, hasta su transformación en el producto terminado, utilizando hilo de diferente color para cada línea de producto fabricado, puede visualizarse con rapidez el flujo de todo el trabajo como se muestra en la figura 2.2. Esta representación pictórica, complementada con el reograma, puede poner de manifiesto la mayor parte de las fallas del método propuesto.

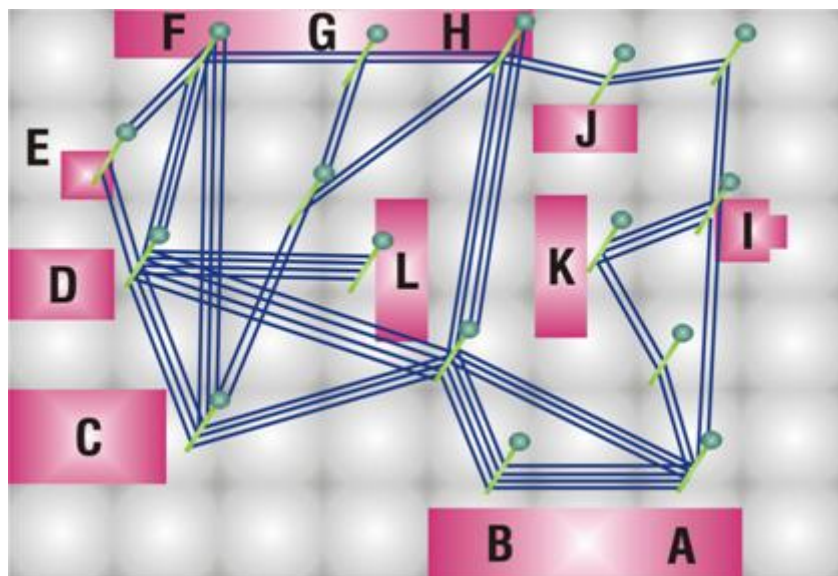


Figura 2.2.- Diagrama de hilos
Fuente: Coromias, A. (1991)

²Flujograma: Representación gráfica de una sucesión de hechos u operaciones en un sistema, como el que refleja una cadena de montaje de automóviles.





Los modelos en tres dimensiones son el método más claro y fácil de entender para representar proyectos de distribución, sin embargo, en vista de la dificultad que implica duplicar un modelo tridimensional, se requiere todavía uno de dos dimensiones, de manera que los costos de los modelos tridimensionales a menudo son prohibitivos. Los dos tipos de modelo tridimensional son los siguientes: (ver figura 2.3)

- ➔ **Modelos modulares de bloque.** Estos modelos consisten en bloques modulares de construcción que sirven para representar el equipo, el costo de estos modelos es reducido, ya que no se requieren modelos especiales de cada máquina.
- ➔ **Modelos a escala o detallados.** Los modelos a escala son modelos especiales que representan a cada pieza del equipo al igual que las dos dimensiones, puede ser de bloque o de contorno.

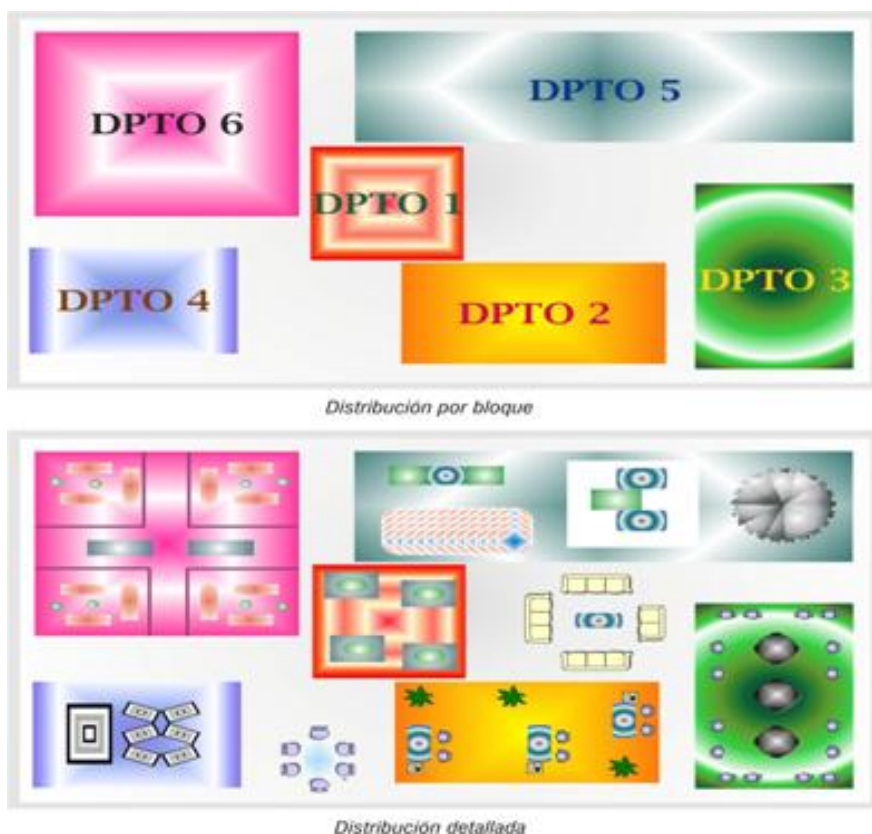


Figura 2.3.- Modelos en tridimensiones
Fuente: Elaboración propia

Se debe seguir el mismo procedimiento para crear el plano de distribución independientemente del tipo de representación que se use, el procedimiento sistemático para desarrollar el plano de distribución de una fábrica es como sigue:





- **Elegir la escala.** De ser posible, se elegirá la misma escala que esté usando el arquitecto, el ingeniero de construcción u otros profesionales que trabajen en el plano o proyecto de la instalación.
- **Elegir el método de representación.** De modo general, la elección del método se debe basar en una combinación de claridad y economía.
- **Obtener materiales.** Equipo para el proyecto.
- **Si se trata de una instalación que ya existe.** Localizar en el plano todos los detalles permanentes, las columnas, ventanas, puertas, muros, rampas, escaleras, elevadores, cañerías, montacargas y otras instalaciones permanentes se deben ubicar desde el principio en el plano de distribución.
- **En el caso de instalaciones inexistentes.** Ubicar todas las columnas, el tamaño, distancia y situación de las columnas debe figurar entre las primeras decisiones acerca de la distribución de una nueva instalación.
- **Localizar todos los departamentos y el equipo de fabricación.** Comenzando con el de recepción, cada departamento se ubicará tentativamente en plano de distribución de acuerdo con la distribución de dicho departamento.
- **Ubicar todos los servicios del personal y de la planta.** Se harán modificaciones al proyecto del área de fabricación para incluir todos esos servicios.

2.2.1 Errores más frecuentes al realizar una distribución

Se considera ilógico presumir que pueden observarse todos los errores en la distribución desde un principio, pero también es cierto que gran parte de ellos pueden prevenirse si se meditan suficientemente los problemas de la distribución mientras ésta se halla todavía en fase de planificación sobre el borrador. Se ha de recalcar la importancia de una resolución analítica que proporcionará primero todos los datos que son de interés y luego sugerirá métodos para resolver los problemas a la luz de dichos datos, cualquier error resultará entonces, sin duda, del olvido de tomar en consideración en forma apropiada, todos aquellos datos y apreciar su importancia más que el hecho de no obtenerlos ya que de ello dependerá el éxito de la empresa. Esto se debe a que no todos los errores son iguales, varían en frecuencia y en cuanto a sus consecuencias y lo que es más importante si han de ser eliminados, los errores varían en términos de sus causas. Por ejemplo un error puede o no producir un efecto en la calidad de lo que se fabrica; el efecto, si lo hay, puede ser grande o pequeño; el error se puede obedecer a diversas causas; como dibujos o instrucciones incomprensibles, herramientas inadecuadas, un ambiente de trabajo incómodo, diseño incorrecto del lugar de trabajo o una mala distribución del mismo.





Puesto que el trabajador es sólo una parte del sistema de producción, que ha sido diseñado consciente y deliberadamente, es lógico que quienes diseñaron el lugar o sistema son los responsables de sus deficiencias. Si el error se produce porque el diseño del sistema es inadecuado, ese error se puede evitar o eliminar mediante un mejor diseño del lugar o sistema.

2.3 TIPOS DE DISTRIBUCIÓN EN PLANTA EN CUANTO A MOVIMIENTO

Fundamentalmente existen siete sistemas o relaciones de distribución en planta, estos se dan a conocer a continuación en la tabla 2.1 en cuanto al movimiento:

Tabla 2.1.- Tipos de distribución en planta en cuanto a movimiento

ELEMENTO	EJEMPLO
Movimiento de Material. En esta el material se mueve de un lugar de trabajo a otro, de una operación a la siguiente.	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Planta embotelladora. ⊙ Taller de maquinaria. ⊙ Refinería de petróleo.
Movimiento del Hombre. Los operarios se mueven de un lugar de trabajo al siguiente, llevando a cabo las operaciones necesarias sobre cada pieza de material.	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Ordenar el material en algún almacén
Movimiento de Maquinaria. El trabajador mueva diversas herramientas o máquinas dentro de un área de trabajo para actuar sobre una pieza grande.	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Maquina móvil de soldar. ⊙ Taller móvil de forja.
Movimiento de Material y Hombres. El trabajador se mueve con el material realizando una determinado operación en cada máquina o lugar de trabajo.	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Fabricación de herramientas. ⊙ Instalación de piezas.
Movimiento de Material y Maquinaria. Los materiales y la maquinaria van hacia los hombres que llevan a cabo la operación, útil en lugares de trabajo individuales.	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Herramientas y dispositivos de fijación que se mueven con el material a través de una serie de operaciones de mecanizado
Movimientos de Hombres y Maquinaria. Los trabajadores se mueven con las herramientas y equipo generalmente alrededor de una gran pieza fija.	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Pavimentado de una carretera ⊙ Afilador ambulante de tijeras
Movimiento de Materiales, Hombres y Maquinaria. Generalmente es demasiado caro e innecesario moverlos a los tres.	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Ciertos trabajos de montaje donde las herramientas y los materiales son pequeños.

Fuente: Elaboración propia.

2.4 ARREGLOS DE DISTRIBUCIÓN EN PLANTA

Las decisiones sobre distribución implican la determinación de la localización de los departamentos, los grupos de trabajo dentro de los departamentos, las estaciones de trabajo, las máquinas y los puntos de mantenimiento. El objetivo es organizar estos elementos de una manera tal que se garantice un flujo de trabajo uniforme en una fábrica o un patrón de tráfico determinado en una organización de servicios.





2.4.1 Disposición por posiciones fijas

Esta modalidad se utiliza cuando el material que se va a procesar no se desplaza por la fábrica sino que se mantiene en un lugar, en cuyo caso se desplaza a ese lugar todo el equipo y la maquinaria necesaria, sucede cuando el producto es voluminoso u pesado y cuando sólo se fabrican unas pocas unidades a la vez (ver figura 2.4). Ejemplos típicos son la construcción de naves o de aeronaves y la fabricación de motores diesel o de otros motores grandes.

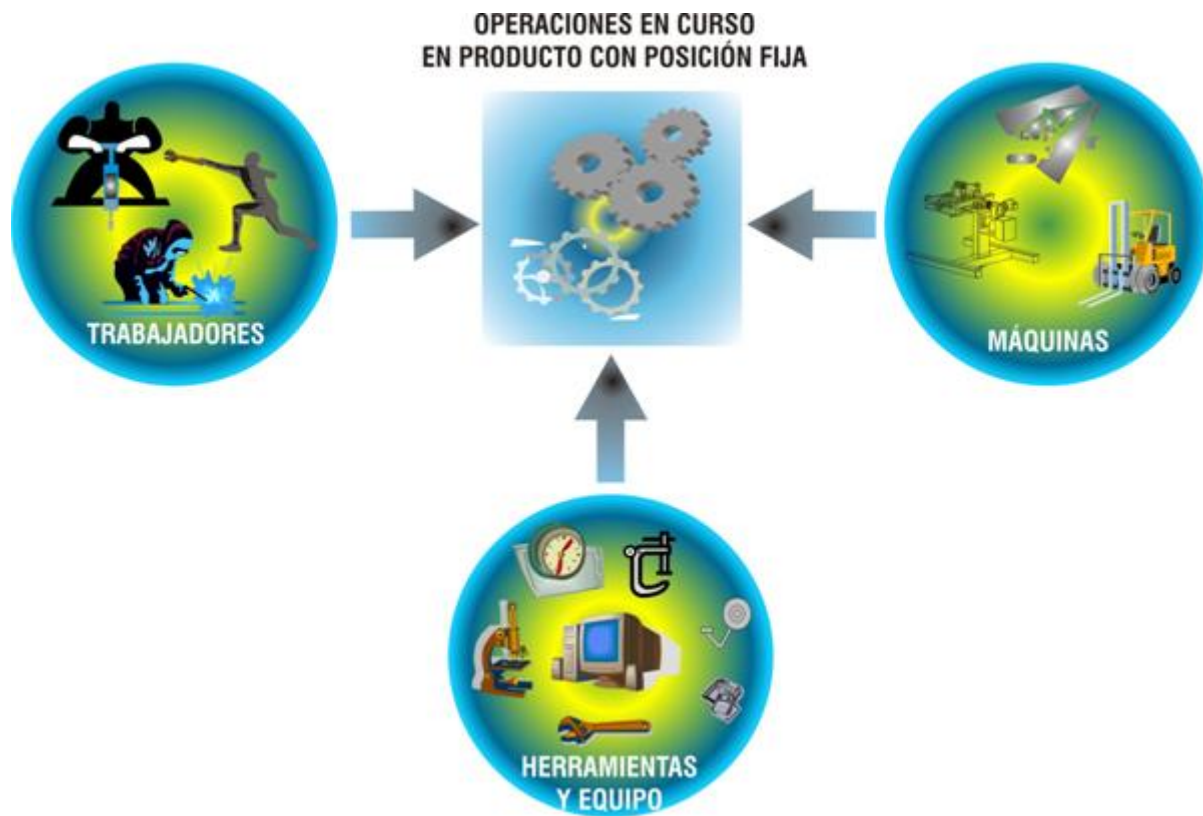


Figura 2.4.- Distribución por posición fija
Fuente: Elaboración propia

Ventajas:

- Se reduce el manejo de la unidad principal de ensamble, aunque el manejo de las piezas aumenta hasta el punto de ensamble.
- Los operarios altamente capacitados pueden terminar su trabajo en un solo punto, y la responsabilidad de la calidad se fija en una persona o en un equipo de ensamble.
- Es posible efectuar cambios frecuentes en los productos o en el diseño de los mismos, así como en la secuencia de las operaciones.
- La disposición se adapta a una variedad de productos y a la demanda intermitente.
- Es más flexible, en el sentido de que no exige una dirección de distribución altamente organizada, muy costosa, ni planificación de la producción, ni disposiciones contra las interrupciones en la continuidad del trabajo.





Inconvenientes:

- No son posibles las grandes producciones con un alto grado de estandarización.
- Cuando la demanda de un producto se hace lo suficientemente grande, será prácticamente ineludible estudiar otro tipo de distribución.
- Generalmente el almacenamiento y el movimiento de los materiales son los principales problemas en una distribución en posición fija.
- Es generalmente mucho menos eficiente en cuanto a la mano de obra directa que las otras alternativas.
- No contar con la herramienta y materiales que se va a trabajar, lo que ocasiona una gran pérdida de tiempo.

Este tipo de distribución es recomendable en los siguientes casos:

- Las operaciones de formación o tratamiento del material necesiten sólo de herramientas manuales o de máquinas sencillas.
- Sólo se fabrique una o unas cuantas piezas de un artículo.
- El costo de trasladar la pieza principal de material sea alto.
- Se necesite un alto nivel de trabajo diestro o se desee asignar la responsabilidad de la calidad del producto a un solo trabajador.

2.4.2 Distribución por procesos

El enfoque más común para desarrollar una distribución por procesos (también llamada taller de empleos o distribución funcional), es el de arreglar los departamentos que tengan procesos semejantes de manera tal que optimicen su colocación relativa, todas las operaciones de la misma naturaleza están agrupadas.

Este sistema de disposición se utiliza generalmente cuando se fabrica una amplia gama de productos que requieren la misma maquinaria y se produce un volumen relativamente pequeño de cada producto (ver figura 2.5). Por ejemplo, fábricas de hilados y tejidos, talleres de mantenimiento e industrias de confección.

Ventajas:

- Menor inversión en máquinas debido a que es menor la duplicidad; sólo se necesitan las máquinas suficientes de cada clase para manejar la carga máxima normal. Las sobrecargas se resolverán por lo general trabajando horas extraordinarias.





- Pueden mantenerse ocupadas las máquinas la mayor parte del tiempo, porque el número de ellas generalmente necesario para la producción normal.
- Una gran flexibilidad para ejecutar los trabajos ya que es posible asignar tareas a cualquier máquina de la misma clase que esté disponible en ese momento.
- Contar con una fácil adaptación a gran variedad de productos, variaciones frecuentes en los productos o en el orden en que se ejecuten las operaciones.
- Los operarios son mucho más hábiles porque tienen que saber manejar cualquier máquina del grupo, preparar la labor, ejecutar operaciones especiales, calibrar el trabajo.
- Los supervisores e inspectores adquieren experiencia y eficiencia, en manejo de sus respectivas clases de máquinas y pueden dirigir la preparación y ejecución de todas las tareas.
- Las averías en la maquinaria no interrumpen toda una serie de operaciones, basta trasladar el trabajo a otra máquina.

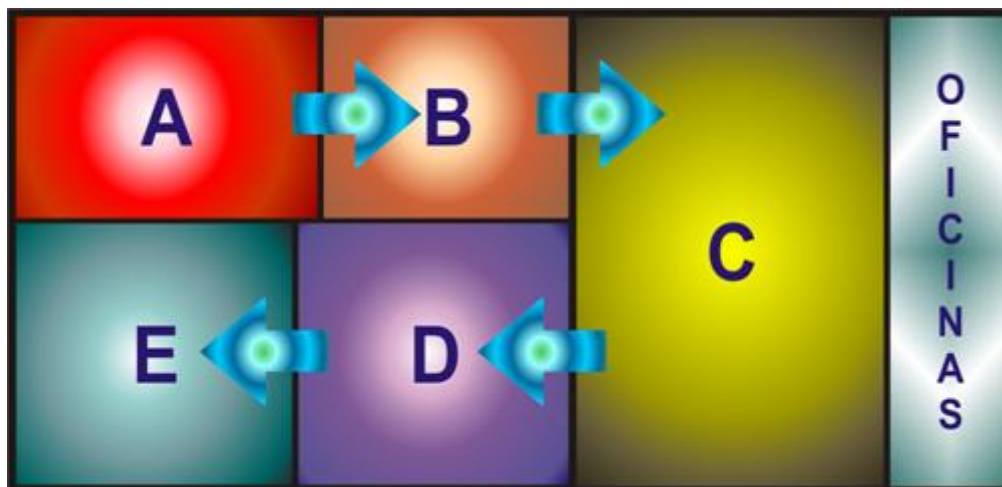


Figura 2.5.- Distribución por proceso
Fuente: Vaughn, R. C. (1993)

Inconvenientes:

- No existe ningún conducto mecánico definitivo por el cuál tenga que circular el trabajo, se tropieza con mayores dificultades para fijar las rutas y los programas.
- La separación de las operaciones y las mayores distancias que tienen que recorrer para el trabajo, dan como resultado más manipulación de materiales y costos más elevados, se emplea más mano de obra.





- Es necesaria una atención minuciosa para coordinar la labor. La falta de un control mecánico sobre el orden de sucesión de las operaciones significa el empleo de órdenes de movimiento y la pérdida o el retraso en el trabajo al tenerse que desplazar de un departamento a otro.
- El tiempo total de fabricación es mayor debido a la necesidad de los transportes y porque el trabajo tienen que llevarse a un departamento antes de que sea necesario, con objeto de impedir que las máquinas tengan que pararse.
- Pueden acumularse cantidades de trabajo debido a la considerable anticipación en la entrega, por detención para inspeccionar la labor después de su ejecución, espera de peones de movimiento que estén efectuando otros transportes, y las demoras consiguientes.
- La falta de disposiciones compactas de producción en línea, por lo general el mayor esparcimiento entre las unidades del equipo en departamento separado, significa más superficie ocupada por la unidad de producto.
- Son necesarias más inspecciones compactas de producción en línea y por lo general, el mayor esparcimiento entre las unidades del equipo en departamentos separados, significa más superficie ocupada por la unidad de producto.
- Sistemas de control de producción mucho más complicado y falta de un control visual.
- Se necesita más instrucciones y entrenamiento para acoplar a los operarios a sus respectivas tareas.

Este tipo de distribución es recomendable en los siguientes casos:

- Cuando la maquinaria es costosa y no puede moverse fácilmente.
- Cuando se fabrican productos similares pero no idénticos.
- Cuando varían notablemente los tiempos de las distintas operaciones.
- Cuando se tiene una demanda pequeña o intermitente.

2.4.3 Disposición por producto o en línea

Vulgarmente denominada “Producción en cadena” (llamada también distribución del taller de flujos), en este tipo de arreglo, toda la maquinaria y equipos necesarios para fabricar determinado producto se agrupan en una misma zona y se ordenan de acuerdo con el proceso de fabricación, se emplea principalmente en los casos en que exista una elevada demanda de uno ó varios productos más o menos normalizados (ver figura 2.6). Como ejemplos típicos son el embotellado de gaseosas, el montaje de automóviles y el enlatado de conservas.



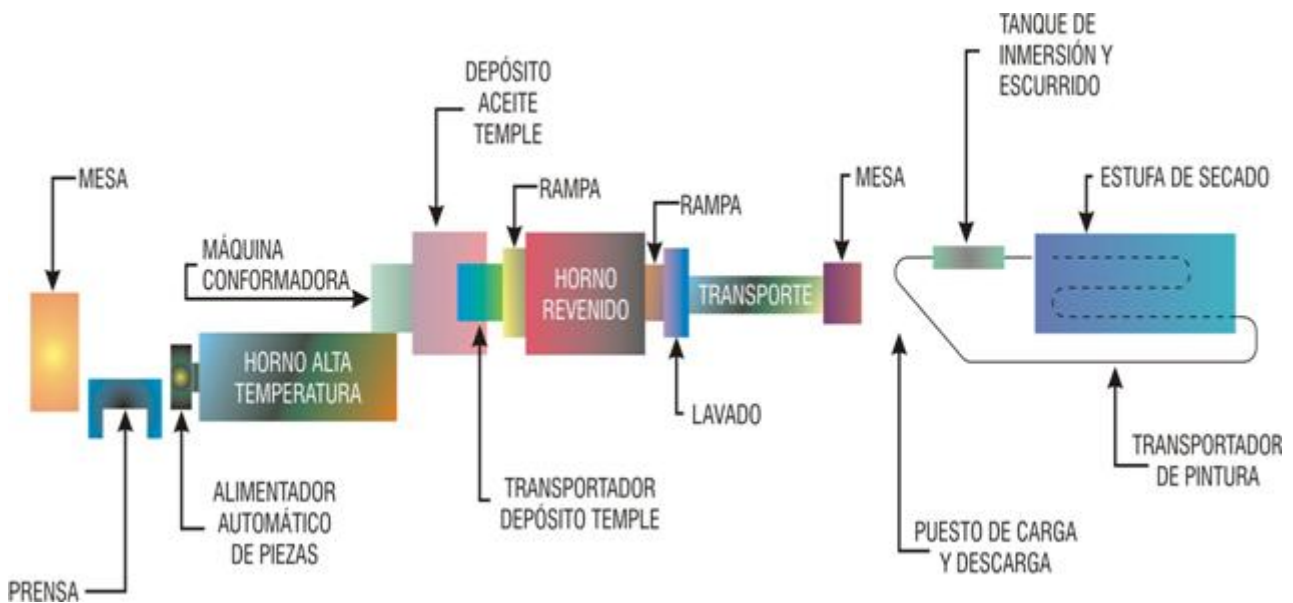


Figura 2.6.- Distribución por producto
Fuente: Vaughn, R. C. (1993)

Ventajas:

- El trabajo se mueve siguiendo rutas mecánicas directas, lo que hace que sean menores los retrasos en la fabricación.
- Menos manipulación de materiales debido a que el recorrido a la labor es más cortó sobre una serie de máquinas sucesivas, contiguas o puestos de trabajo adyacentes.
- Estrecha coordinación de la fabricación debido al orden definido de las operaciones sobre máquinas contiguas.
- Menos probabilidades de que se pierdan materiales o que se produzcan retrasos de fabricación.
- Tiempo total de producción menor evitando demoras entre máquinas.
- Menores cantidades de trabajo en curso y tránsito entre éstas.
- Menor superficie de suelo ocupado por unidad de producto debido a la concentración de la fabricación.
- Cantidad limitada de inspección.
- El control visual reemplaza a gran parte del trabajo de papeleo, menos impresos y registros utilizados, menos contabilidad y costos administrativos más bajos.
- Se obtiene una mejor utilización de la mano de obra ya que existe mayor especialización del trabajo, se pueden emplear trabajadores especializados y no especializados.

Inconvenientes:

- Elevada inversión en máquinas debido a sus duplicidades en diversas líneas de producción.
- Considerable ociosidad en las máquinas así como en una o más líneas de producción.





- Menos flexibilidad en la ejecución del trabajo porque las tareas no pueden asignarse a otras máquinas similares, como en la disposición por proceso.
- La inspección no es muy eficiente. Los inspectores regulan el trabajo en una serie de máquinas diferentes y no se hacen muy expertos en la labor de ninguna clase de ellas.
- Los costos de fabricación pueden mostrar tendencia a ser más altos, aunque los de mano de obra por unidad, quizás sean más bajos debido a los gastos generales elevados en la línea de producción. Gastos especialmente altos por unidad cuando las líneas trabajan con poca carga ó están ocasionalmente ociosas.
- Peligro que se pare toda la línea de producción si una máquina sufre una avería. A menos de que haya varias máquinas de una misma clase: son necesarias reservas de máquina de reemplazo o que se hagan reparaciones urgentes inmediatas para que el trabajo no se interrumpa.

Este tipo de distribución es recomendable en los siguientes casos:

- Cuando se fabrique una pequeña variedad de piezas o productos.
- Cuando difícilmente se varía el diseño del producto.
- Cuando la demanda es constante y se tiene altos volúmenes.
- Cuando es fácil balancear las operaciones.

2.4.4 Distribuciones híbridas o células de trabajo

Una célula industrial consiste en dos o más funcionamientos, estaciones de trabajo, o máquinas dedicados a procesar uno o un número limitado de partes o productos. Una célula tiene un área activa definida y se fija, se maneja, y se mide como una sola unidad de medios de la producción. Típicamente, una célula es relativamente pequeña, y puede autogestionarse virtualmente. Normalmente, los rendimientos de un la célula son partes más-o-menos completas o ensamblas. Tres aspectos que intervienen es este tipo de distribución y que deben dirigirse al planear una célula industrial son:

1. *Físico*
2. *Proceso*
3. *Personal*

Las células consisten en instalaciones físicas, diseño, manejo material, maquinaria, y utilidades. Las células también requieren operar procedimientos para calidad y diseño, dirección de los materiales, mantenimiento, y contabilidad. Las células emplean personal en varios trabajos y capacidades, ellos también requieren políticas, organización, dirección, y capacitación.





Aunque en la práctica, el término célula se utiliza para denominar diversas y distintas situaciones dentro de una instalación, ésta puede definirse como una agrupación de máquinas y trabajadores que elaboran una sucesión de operaciones sobre múltiples unidades de un ítem o familia de ítems (ver figura 2.7).

La denominación de distribución celular es un término relativamente nuevo, sin embargo, el fenómeno no lo es en absoluto, en esencia la fabricación celular busca eficiencia y flexibilidad.

Este arreglo aplica los principios de la tecnología de grupos a la producción, agrupando outputs con las mismas características en familias y asignando grupos de máquinas y trabajadores para la producción de cada familia, en ocasiones estos outputs serán productos o servicios finales, otras veces serán componentes que habrán de integrarse a un producto final en cuyo caso, las células que los fabrican deberán estar situadas junto a la línea principal de ensamble (para facilitar la inmediata incorporación del componente en el momento y lugar en que se necesita).

Ventajas:

- Mejora las relaciones humanas, ya que son entrenados para manejar cualquiera de las máquinas de su célula y asumen de forma conjunta la responsabilidad del resultado de los outputs.
- Mejora de la pericia de los operarios, realizan sólo un número limitado de ítems en un ciclo de producción finito, el incremento en la repetitividad permite un aprendizaje más rápido.
- Disminución del material en proceso, una misma célula engloba varias etapas del proceso de producción, por lo que el traslado y manejo de materiales a través de la planta se ve reducido.
- Disminución de los tiempos de preparación y fabricación.
- Simplificación de la planificación.
- Se facilita la supervisión y el control visual.
- Reducción en manejo de materiales del 67% a 90%.
- Reducción del inventario en proceso de fabricación del 50% a 90%, desde el material, no está esperando delante de los funcionamientos del proceso, reduce la cantidad de material más allá en proceso.
- El tiempo es más corto en producción, de días a horas o minutos, desde las partes y productos, pueda fluir rápidamente entre los funcionamientos adyacentes.
- Aumenta la productividad del operador.
- Es mas rápida la acción contra los problemas de calidad
- Una mejor capacitación.



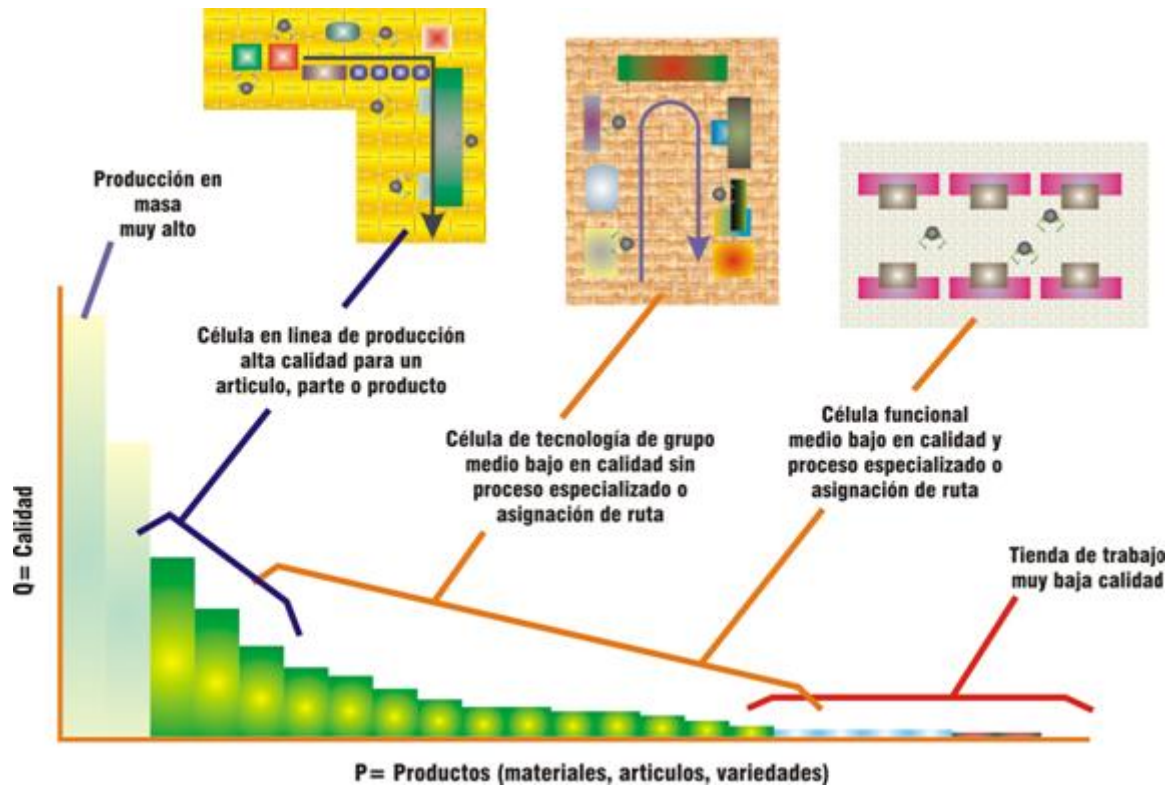


Figura 2.7.- Las consideraciones importantes y tipos de células industriales
Fuente: Planeando Células industriales, © Copyright 2002 Richard Muther & los Socios

Las células de producción en masa, se utilizan típicamente cuando existen cantidades de producción arriba de un millón de unidades por año, auxiliándose de la automatización de gran velocidad en líneas de ensamble progresivo u transferencia de maquinaria.

Los pasos exigidos para diseñar una célula industrial son del mismo para los tres tipos de células, línea de la producción, tecnología de grupo, y funcional. Sin embargo, el énfasis y en específico las técnicas usadas variarán algo, esto, basado en la naturaleza física de los procesos de fabricación involucrados, por ejemplo:

- Al planear la célula industrial debe tenerse presente el tipo de maquinaria a utilizar, la capacidad de máquinas es importantes, crítica, y puede arreglarse relativamente.
- El tiempo exigido para cambiar una parte o artículo a otro también es crítico.
- Concesiones para la estructuración y pérdidas de capacidad a los cambios son muy importantes.
- La mano de obra pueden ser de importancia secundaria, después de que el número de máquinas ha sido determinado.





En contraste, al planear una tienda de trabajo, la variabilidad de tiempos del funcionamiento debe entenderse, y el trabajo debe ser equilibrado entre los operadores para asegurar una buena utilización. En tales células de tienda de trabajo, la utilización de equipo pueda ser un problema secundario.

Inconvenientes:

- Incremento en el costo y desorganización por el cambio de una distribución por proceso a una distribución celular.
- Normalmente, reducción de la flexibilidad del proceso.
- Potencial incremento de los tiempos inactivos de las máquinas (éstas se encuentran ahora dedicadas a la célula y difícilmente podrán ser utilizadas todo el tiempo).
- Riesgo de que las células queden obsoletas a medida que cambian los productos o procesos.
- Rechazo del obrero o falta de aceptación, a menudo debido a la falta de involucramiento del operador en el diseño de la célula, o a la motivación insuficiente y explicación por parte de la dirección, sobre todo si el resultado se percibe que es para una reducción de fuerza obrera.
- Falta de apoyo u oposición por personal auxiliar en la plantación de la producción, control de inventario y/o contabilidad del costo, esto normalmente cuando la creación de la célula causa cambios en procedimientos y prácticas, o reduce la cantidad de detalle informada de la planta.
- La utilización de la máquina reducida, debido a la dedicación de equipo a las células y a las familias de partes. En algunos casos, la maquinaria adicional, reproducida puede requerirse y no contar con ella.
- Tener que capacitar a los obreros para un rango mas ancho de deberes y responsabilidades.

Este tipo de distribución es recomendable en los siguientes casos:

Cuando la demanda es constante y se requiere de un acabado en específico.

Cuando se fabrica un mismo producto.

2.5 ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN EN PLANTA

Por lo general, la distribución del producto deja menos margen para el arreglo porque depende principalmente de la tecnología aplicada, se convierte en una línea continua desde la materia prima hasta el producto terminado, en la práctica tenemos como ejemplos, las grandes líneas de montaje de automóviles y de procesamiento de alimentos, así como las líneas más pequeñas basadas en la mano de obra donde se fabrican submontajes especiales o se sirven alimentos en las cafeterías, todas esas líneas se caracterizan por el orden sucesivo y la duración de las actividades en las estaciones de trabajo, como se explica bajo el título “balanceo de línea”.





Una vez que la línea de producción ha sido balanceada para rendimiento óptimo, el principal problema de distribución es su forma, ya se le de forma recta, de círculo, de S, L, de U, entre otros, se puede investigar manipulando plantillas o modelos de tres dimensiones a escala, los auxiliares gráficos y los modelos ayudan a visualizar una solución pero carecen de medidas cuantitativas para seleccionar el mejor diseño.

La distribución de procesos desafía a los planificadores de instalaciones con un número enorme de arreglos posibles, existen más de tres millones de patrones diferentes para distribuir procesos que se compongan de 10 departamentos, suponiendo que no hay restricciones desde luego, hay limitaciones derivadas de las cuestiones arquitectónicas, de las necesidades de la producción, de las reglas de seguridad y de otras razones, por lo general no facilitan la distribución, en realidad es probable que la compliquen. A diferencia de una distribución del producto donde las unidades de producción siguen una misma ruta, la distribución de procesos debe ser capaz de producir una variedad de productos que siguen rutas diferentes entre los centros de trabajo, los costos de manejo de materiales son por lo tanto más altos, por consiguiente, la mayoría de los métodos de análisis se concentran en los costos de transportación como medida de la eficiencia de la distribución de procesos.

Los elementos del análisis de instalaciones incluyen los pronósticos de la demanda futura, que sugieren el tamaño y el contenido de los centros de trabajo. Por ejemplo, las especificaciones para un hospital en una comunidad que crece indicarían salas médicas de tamaño suficiente para dar cabida a equipo adicional en el futuro y preverían la adición posterior de más salas para pacientes a la estructura central de servicios, las demandas futuras se traducen en necesidades actuales de capacidad considerando el potencial de tiempo extraordinario, la producción neta con el equipo existente y la nueva producción futura con los adelantos lógicos que se esperan de la tecnología, esas consideraciones, combinadas con los límites impuestos a los desembolsos de capital, determinan el tamaño de los centros de trabajo (departamentos) que se van a incorporar al diseño.

Una distribución por célula es esencialmente una línea de la producción (o diseño por producto) para un grupo o familia de artículos similares. Es una alternativa al diseño y organización por el proceso en que los materiales típicamente el movimiento a través de las secciones sucesivas de procesos similares o funcionamientos. Este diseño por el tipo de proceso generalmente lleva a los inventarios más altos como partes espera entre los funcionamientos departamentales, sobre todo si se producen lotes más grandes o porciones. Hay un incremento en manejo de material ya que se requiere mover entre las secciones, y el tiempo del proceso global es más largo. La exposición a los problemas de calidad es mayor. En la tabla 2.2, se muestran las comparaciones de las cuatro principales formas de distribuir una planta.





Tabla 2.2.- Comparación de los 4 principales tipos de arreglos de distribución en planta

	DISTRIBUCIÓN POR PRODUCTO	DISTRIBUCIÓN POR PROCESO	DISTRIBUCIÓN POSICIÓN FIJA	DISTRIBUCIÓN CÉLULA DE TRABAJO
PRODUCTO	Estandarizado Alto volumen de producción. Tasa de producción constante.	Diversificados Volúmenes de producción variables. Tasas de producción variables.	Normalmente, bajo pedido. Volumen de producción bajo (con frecuencia una sola unidad).	Puede ser Automatizado Medio Bajo
FLUJO DE TRABAJO	Línea continua o cadena de producción. Todas las unidades siguen la misma secuencia de operaciones.	Flujo variable. Cada ítem puede requerir una secuencia de operaciones propia.	Mínimo o inexistente. El personal, la maquinaria y los materiales van al producto cuando se necesitan.	Línea de producción variable Depende en gran parte del tipo de célula industrial a utilizar.
MANO DE OBRA	Altamente especializada y poco calificada. Capaz de realizar tareas rutinarias y repetitivas a ritmo constante.	Fundamentalmente calificada, sin necesidad de estrecha supervisión y moderadamente adaptable.	Alta flexibilidad de la mano de obra (la asignación de tareas es variable).	Baja Cuando ya se definió el tipo de maquinaria a utilizar
PERSONAL	Numeroso personal auxiliar en supervisión, control y mantenimiento.	Necesario en programación, manejo de materiales y control de la producción y los inventarios.	Fundamental en la programación y coordinación de actividades.	Bajo no se necesita de gran personal
MANEJO DE MATERIALES	Previsible, sistematizado y, a menudo, automatizado.	Variable, a menudo hay duplicaciones, esperas y retrocesos.	Variable, y a menudo, escaso. En ocasiones se requieren equipos (de tipo universal) para cargas pesadas.	Bueno, reduce la distancia entre funcionamiento
INVENTARIOS	Alto inventario de productos terminados Alta rotación de inventarios de materias primas y material en proceso.	Escaso inventario de productos terminados Altos inventarios y baja rotación de materias primas y materiales en curso.	Inventario; variables y frecuentes movilizaciones (ciclo de trabajo largo)	Alto, los inventarios se elevan
UTILIZACIÓN DE ESPACIO	Eficiente; elevada salida por unidad de superficie	Ineficiente; baja salida por unidad de superficie. Gran necesidad de espacio del material en proceso.	Generalmente toda la superficie es requerida por un único producto (una sola unidad).	Eficiente se utiliza muy bien el espacio
NECESIDAD DE CAPITAL	Elevada inversión en procesos y equipos altamente especializados.	Inversiones más bajas en proceso y equipos de carácter general.	Equipos y procesos móviles de carácter general.	Elevada inversión en maquinaria en general
COSTO DEL PRODUCTO	Costos fijos relativamente altos. Bajo costo unitario por mano de obra y materiales	Costos fijos relativamente bajos. Alto costo unitario por mano de obra y materiales.	Costos fijos relativamente bajos. Alto costo unitario por mano de obra y materiales.	Costos fijos Depende del tipo de célula industrial a utilizar

Fuente: Elaboración propia.





2.6 IMPLANTACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN

El proyecto de la instalación, una vez aprobado, se entrega a un grupo de ingeniería o a un contratista para que lo lleve a la práctica, quien haya hecho el plan debe trabajar con la persona encargada de realizar el proyecto de manera que, si se requieren modificaciones se puedan llevar a cabo considerando los efectos generales del cambio. Muchas veces lo que desde el punto de vista de la instalación puede parecer un cambio muy pequeño es capaz de afectar significativamente a la operación de la instalación, una vez implantado el diseño quien hizo los planes tendrá que vigilar junto con las personas encargadas de la operación de la instalación los procedimientos, métodos y utilización tal como se diseñaron.

Concluyendo, podemos decir que por muchas alternativas de distribución que investiguemos no podremos esperar una que lo posea todo, en un plan o en otro tendremos que hacer alguna concesión para obtener una solución práctica, al mismo tiempo, reflexionando suficientemente a través del estudio encontraremos que cada distribución está sujeta a mejoras, por consiguiente se comprende que será ventajoso desarrollar dos o tres soluciones prácticas a partir de la distribución teórica, evaluándolas y seleccionando la que parezca mejor, después pondremos todo nuestro empeño en su desarrollo, otro modo, puede suceder que se invierta todo nuestro tiempo discutiendo cual es la mejor solución y luego nos haga falta para desarrollar sus detalles.

2.7 QUIÉN HACE LA INSTALACIÓN DE LA NUEVA DISTRIBUCIÓN

La mayoría de las compañías efectúan su propio trabajo de instalación, a continuación se mencionan algunas de las razones de esto:

- Es probable que el costo sea menor cuando la compañía tiene su propio equipo de mantenimiento. El personal de mantenimiento se familiariza con la instalación en el momento de colocarla, por lo tanto le es más sencillo repararlo y darle mantenimiento.
- Hay menor necesidad de llevar a cabo el complicado papeleo de los contratos, los impresos, las especificaciones, los dibujos de instalación y cuestiones similares.
- Cuando la velocidad y el tiempo juegan un papel importante, en los cambios apresurados, suele resultar poco práctico el esperar a los contratistas externos.
- Cuando la compañía encarga a su propio personal el trabajo de instalación, la consecuencia es que queda asegurada la presencia del personal de mantenimiento en casos de emergencia.

Sin embargo, la contratación de personal externo para la instalación tiene sus ventajas:





- Los contratistas suelen estar muy capacitados y conocer bien el trabajo y las técnicas de instalación de distribuciones; cuentan con el equipo adecuado y pueden realizar un trabajo seguro y eficiente.
- Con frecuencia la compañía no tiene un equipo de ingenieros de planta lo suficientemente grande como para encargarse de la poco usual tarea de instalar distribuciones.
- Para las distribuciones nuevas, tal vez la compañía ni siquiera tenga el personal necesario.
- Los equipos de construcción y mantenimiento de la propia compañía tendrán otros detalles que atender durante la redistribución y no tendrán tiempo de ocuparse de la instalación en si.

En los casos en que se contrata personal externo, resulta práctico el contar con una o más personas de la compañía, para que trabaje de cerca con ellos. Otras cuestiones significativas en relación con la instalación son las siguientes:

- **Condicionamiento de los empleados al cambio.** La instalación de la distribución es un momento de interrupción para los empleados, por ello, se les deben dar a conocer, por escrito y con diagramas, los detalles de la nueva distribución. Se les debe hablar de manera entusiasta y pedirles sus comentarios.
- **Problema de la redistribución básica.** El llevar a cabo una redistribución es como un juego de ajedrez, una pieza se mueve a un punto que de hecho, está ocupado por otra en este caso, la secuencia de movimientos debe planearse de tal forma que los cargadores no traten de llevar un equipo a un lugar que ya esté ocupado, este problema junto con el de continuar la producción durante el cambio, suele ser uno de los grandes obstáculos que limitan el diseño de la distribución en si.
- **Momento de instalar.** Aun cuando el tiempo de instalación de la distribución es importante, por lo general se trata de elegir el momento menos inconveniente más que de hallar el momento en el que todos estén de acuerdo por lo común, se prefieren:
 1. Las épocas en que se realizan los cambios anuales en el diseño de los productos.
 2. Las temporadas en que la planta se cierra por vacaciones.
 3. Las temporadas de poco trabajo.
 4. Los fines de semana o los fines de semana a los que siguen o anteceden días de fiesta.
- **Identificación de los puntos de ubicación.** Antes de comenzar a mover las cosas, los planificadores de distribución experimentados marcan sus pasillos principales, de lo contrario los equipos de instalación pondrían el equipo en ellos de manera temporal y con esto provocarían que se tuviera que pasar por las áreas donde se estuvieran instalando otros equipos. Todo lo anterior conlleva mucho desorden, asimismo las columnas deben marcarse





antes de llevar a cabo la instalación, si es que no se habían marcado con anterioridad, la mayor parte del equipo se va a ubicar a partir de estos pasillos y columnas donde quiera que haya espacio de piso libre se deberá marcar la ubicación exacta del equipo importante de acuerdo con la nueva distribución.

- **Coordinación de la instalación.** Cuando se necesita un movimiento mayor y están terminados los planes para su ejecución, se debe realizar una conversación con el jefe de cada una de las funciones interesadas, se debe colocar un aviso previo sobre el programa de movimiento dando el tiempo suficiente para que surja cualquier posible conflicto. Cuando todo está listo, los movimientos reales suelen iniciarse por medio de una orden de trabajo o un aviso de movimiento de equipo junto con una lista adjunta del equipo. Tal vez la manera más sencilla de programar y controlar la instalación de una nueva distribución sea la gráfica de Gantt³, que muestra en una misma hoja, tanto el plan como la fecha de terminación. En el caso de las instalaciones que abarcan un gran número de tareas, tareas que se deban efectuar en un lapso muy corto o aquéllas en las que participen muchos proveedores o varios contratistas, resulta más útil contar con el diagrama de ruta crítica y programa de red, independientemente de las técnicas la duración de cada tarea deben calcularla los responsables de su terminación, lo que fomenta las estimaciones realistas y que la gente se comprometa con ellas.
- **El planificador de la distribución debe estar al alcance.** Los planificadores de la distribución deben estar listos para efectuar cualquier cambio que se necesite en el curso de la instalación. No importa cuán bueno sea el diseño de la distribución siempre se necesitarán ajustes al momento de instalar, el planificador debe esperar tales problemas y anticipar los cambios necesarios.
- **Verificación de seguimiento.** A pesar de lo minuciosa que haya sido la planificación, siempre habrá fallas, el planificador de la distribución debe comparar la distribución real con el plan aprobado conforme se instale y se ponga en marcha, también debe reconocer las diferencias y, una de dos aceptarlas como buenas o ponerse de acuerdo con el personal de instalación, para reacomodar el equipo conforme se vaya necesitando.
- **Expediente de la distribución.** La verificación de la distribución instalada será necesaria para actualizar los registros de distribución, sólo de esta manera podrá contarse en el futuro con un plano de la distribución existente.

³ La gráfica de Gantt fue diseñada por Henry Gantt alrededor de 1911, como un medio de programar el trabajo de un taller. Ésta se ha convertido en la representación más fácilmente entendible del plan de programación para una diversidad de tipos de trabajo. Mientras que su uso antes de los métodos de computación para la programación de proyectos fue muy amplio, a menudo, se le desacreditaba con el comentario de que escondía más de lo que revelaba.





2.7.1 Instalación de la distribución de la planta

Es el paso siguiente a la localización del área que se debe distribuir, a la distribución general total y al plan de distribución pormenorizado, en ocasiones la persona encargada de la planificación de la distribución es el asesor o el coordinador y el trabajo de instalación recae en el departamento de ingeniería o de mantenimiento de la planta, como mínimo se llama al planificador de la distribución para que proporcione los pormenores de la forma en que debe quedar la nueva instalación. La información necesaria para la instalación de la distribución suele incluir lo siguiente:

- Una lista de todo el equipo y la maquinaria nuevos que se deben instalar o del equipo existente que se debe trasladar o cambiar de lugar.
- Una impresión, dibujo o fotografía que explique los detalles de los nuevos lugares.
- Un programa de los movimientos.
- Una hoja de especificaciones que muestre cómo se debe desconectar, trasladar y acoplar cada máquina.

Debido a que no se pueden admitir interferencias con el programa de producción, todos los cambios deben planificarse y programarse de manera cuidadosa, el procedimiento que se muestra aquí garantiza que los espacios de piso se vaciarán antes de que se intente colocar las máquinas en ellos.

1. La nueva distribución propuesta se muestra en color negro en el diagrama que se entrega al ingeniero de la planta, que se encarga de marcar los lugares existentes (sombreados) de las máquinas y de mostrar el camino que se debe seguir, así como los lugares intermedios (sombreado más claro).
2. El superintendente de la planta hace una lista de los movimientos, la cual indica lo que se tiene que hacer, pero no la manera de hacerlo.
3. La orden de movimiento indica la forma y la secuencia en que se deben realizar los movimientos mostrados en la distribución propuesta.





2.7.2 Recomendaciones y pasos a seguir en la instalación⁴.

1. *Planifique:*

- a) *Comience a planificar pronto*, la planificación bien fundamentada ahorra tiempo durante los pasos de acción rápida.
- b) *Determine la secuencia de movimientos*, identificar los problemas prácticos de la operación.
- c) *Realice un inventario de todo lo que se debe reubicar*, logre que se deseche el saldo.
- d) *Programe los movimientos al detalle*, establezca un calendario de fechas y horas específicas.
- e) *Asigne un número de movimiento a cada uno de los artículos*, márkelo en la hoja de inventario y verifíquelo contra la etiqueta de la máquina.

2. *Proporcione:*

- a) *Considere la posibilidad de contratar personal externo para realizar los movimientos y la instalación*, tomando en cuenta varias ofertas.
- b) *Solicite la ayuda adecuada*, coloque personas importantes en cada uno de los departamentos o áreas en cuestión.
- c) *Solicite un amplio equipo para efectuar los movimientos*, medite la posibilidad de rentar equipo a fin de que lo ayude, tanto a realizar los movimientos como a mantener el funcionamiento de las operaciones durante la instalación.
- d) *Asegúrese de que haya una buena comunicación*, tenga teléfonos y personal capacitado en ambos extremos de la línea.

3. *Prepare:*

- a) *Prepare la nueva ubicación*, deben estar listos los cimientos, las paredes divisorias, la limpieza, la pintura y las líneas auxiliares de servicios.
- b) *Comunique los planes*, haga que todo el mundo sepa lo que está sucediendo y aproveche las nuevas ideas y sugerencias, avise a los empleados qué es lo que deben hacer, cuándo y cómo.
- c) *Ponga una etiqueta a cada uno de los artículos que se van a mover*, utilice colores y códigos, así como marcas de identificación, fecha de movimiento y sugerencias.

4. *Efectúe los movimientos:*

- a) *Cuide que todos los movimientos se efectúen de acuerdo con el programa*, coloque en el pizarrón un aviso sobre los avances diarios.
- b) *Mueva el equipo intacto*, trate de moverlo todo junto para evitar la necesidad de reensamblarlo antes de usarlo de nuevo.

⁴ Según R. H. McCarthy de la compañía Westem Electric.





- c) *Coloque el equipo lo más cerca que se pueda del punto de instalación, a fin de reducir el tiempo que el personal especializado en instalaciones destine para su manejo.*
- d) *Mantenga la coordinación de los cargadores, por medio de avisos e instrucciones constantes.*

5. Instale:

- a) *Espere cambios de último minuto, no se moleste si el plan no funciona a la perfección pues nunca es así.*
- b) *Utilice acoplamientos temporales, para luego utilizar el servicio de conexiones permanentes.*
- c) *Ponga marcas en los equipos que estén listos para la inspección de la instalación, haga que el personal de instalación anuncie sus avances día con día.*

6. Inicie:

- a) *Verifique la instalación, asegúrese de que el lugar y los acoplamientos estén bien.*
- b) *Permita que el departamento de mantenimiento pruebe el equipo, que los supervisores le den el visto bueno.*

7. Limpie:

- a) *Inspeccione la instalación, tome nota de los cabos sueltos.*
- b) *Ponga una fecha límite para hacer la limpieza, de lo contrario, la instalación se considerará temporal y los resultados de la producción adolecerán de la misma actitud*



CAPÍTULO 3

MÉTODOS PARA REALIZAR LA DISTRIBUCIÓN EN PLANTA

3.1 ANTECEDENTES

La programación o *software*, puede ayudar al analista en el desarrollo de formas reales de solución rápidamente y sin gran costo, se han elaborado muchos programas de diseño de instalaciones, cada uno tiene características especiales que le hacen ser atractivo para ciertas aplicaciones aunque muchos diseños de instalaciones se siguen haciendo en láminas de papel cuadrulado, cada día se utiliza más el diseño mediante una computadora, que es especialmente aplicable a la distribución detallada de las secciones. El único problema que puede impedir la realización del diseño en computadora a una distribución en planta determinada, puede ser la falta de precisión del “software” y el tamaño de los monitores disponibles.

Es evidente que, en el proceso de diseño que se ha descrito, las computadoras pueden constituir una gran ayuda en muchos momentos, como herramienta para analizar, almacenar, elaborar y representar información. Pero esto no es privativo de los estudios de distribución en planta a los cuales, además la computadora puede aportar ayudas específicas. De hecho, la distribución en planta es un campo de aplicación típico para las técnicas de *Computer Aided Design* mejor conocido como el CAD y que significa diseño asistido por computadora. Esto es así teóricamente, aunque en la práctica no se haya avanzado tanto como cabría esperar o como se podía suponerse cuando hace ya un cuarto de





siglo se dieron a conocer los primeros programas de computadoras para ayudar a la obtención y evaluación de distribuciones en planta; tal vez estos programas se adelantaron a las posibilidades técnicas de su tiempo y sus resultados no completamente satisfactorios no contribuyeran a impulsar la utilización de las computadoras sino a su estancamiento, pero está claro que la posibilidad que puede ofrecer un sistema CAD, tales como el almacenamiento de representaciones de los elementos que intervienen en el problema, simulaciones, cálculos de costos, dibujos y sus modificaciones o representaciones dimensionales y tridimensionales desde distintos puntos de vista, son de gran utilidad para el desarrollo, evaluación y presentación de soluciones. En el estado actual de su evolución, la tecnología informática permite que una computadora personal o una terminal, con su capacidad de interacción sistema usuario, sean instrumentos idóneos para llevar a cabo un estudio de distribución en planta, desde su inicio hasta la obtención de los planos.

Los softwares que se comentan en este capítulo nos ayudan a planificar, es decir a establecer un método destinado a lograr algo, cuando esta definición se aplica a las instalaciones, la planeación se usa para definir la configuración y los métodos de operación previstos para las mismas, el término utilización como lo aplican los ingenieros industriales, significa el método mediante el cual algo se transforma en uso redituable y por lo general, abarca la medición de la eficacia de tal uso, en general las instalaciones se definen en el contexto de los activos fijos o capitalizados de una organización incluyen el terreno, los edificios y el equipo. Gran porción del capital invertido de una compañía suele estar incluido en las instalaciones, normalmente esta inversión es menos líquida que otros activos como el inventario, si se planifican en forma adecuada y se utilizan de manera eficiente las instalaciones tienen un efecto positivo en los costos y las capacidades de operación, estos hechos en conjunto indican que la efectividad de la planeación y utilización de las instalaciones puede tener una consecuencia significativa en el rendimiento sobre los activos.

3.2 DISEÑO MODULAR

Tomando como ejemplo un gran aeropuerto, se ve un gran cuerpo central y varios brazos que salían de él, cada uno de estos brazos se caracteriza por tener varias subinstalaciones, como las salas de embarque, los restaurantes, las salas de espera, etc. Muchas galerías comerciales han sido construidas con un concepto básico similar, con cada tienda como un módulo separado, así como empresas manufactureras han adoptado un enfoque parecido la razón es muy simple: cambiar es más fácil, si el producto, el proceso, la demanda o la organización pueden verse afectados por cambios rápidos (como es el caso de las industrias electrónicas) la distribución en planta modular o estructura en "espina" es la más característica, como se muestra en la figura 3.1.





Obsérvese que el personal, el material, las comunicaciones, las instalaciones, fluyen a lo largo de la espina. Cada uno de los compartimentos a ambos lados de ella representa una sección. A puede ser la administración y E almacén, y los otros pueden estar dedicados a la fabricación, a montajes y submontajes, oficina técnica, etc. Generalmente, los compartimentos se ordenan de más a menos permanentes, en función de las previstas probabilidades de cambio.

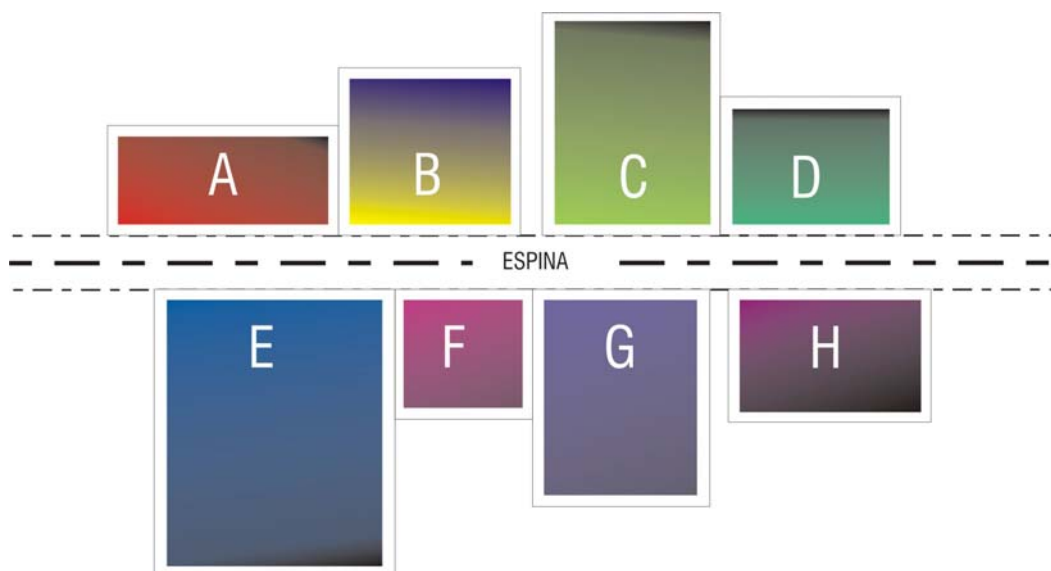


Figura 3.1.- Ejemplo de disposición modular o en "espina"
Fuente: Vaughn, R. C. (1993)

3.3 METODOS PARA REALIZAR UNA DISTRIBUCIÓN

En el punto número uno se muestra una guía de metodología para mejorar la distribución en planta de la micro y pequeña empresa, resultado de una investigación realizado por Jaime Garnica Gonzáles en el año 1997 a 2000. Posteriormente dando se a conocer en un foro llevado a cabo en el mismo año en la ciudad de Ixtapa Zihuatanejo México, con la finalidad de promover su uso y mejorar la técnica. Cabe hacer mención que en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, se sigue la mejora de la propuesta guía antes citada y ha dado como resultado a otros trabajos de investigación como la de desarrollo de una técnica heurística para el mejoramiento de la distribución en planta en los talleres de hojalatería y pintura automotriz.

3.3.1 Descripción de las tablas guía de mejora

Consiste en un formato cuidadosamente diseñado y que contempla las consideraciones generales y aplicables a cualquier problemática de distribución en planta de organizaciones productoras de bienes y/o servicios. Mismos que por su sencillo diseño de seriación le permite a la persona que lo utiliza su fácil entendimiento y agilización del trabajo. La figura 3.2 muestra las partes que integran la tabla guía de mejora.





El formato esta subdividido en tres secciones, en la primera de las cuales plantea la identificación del problema a través de cuestionamientos previamente determinados. La segunda sección esta en función de la respuesta obtenida en el cuestionamiento anterior, y contiene la descripción de las posibles causas que generan el problema. Por lo que respecta a la tercera sección, esta contempla la descripción de las alternativas de solución a las causas identificadas en la segunda sección y que generan la problemática referida en la primera sección.

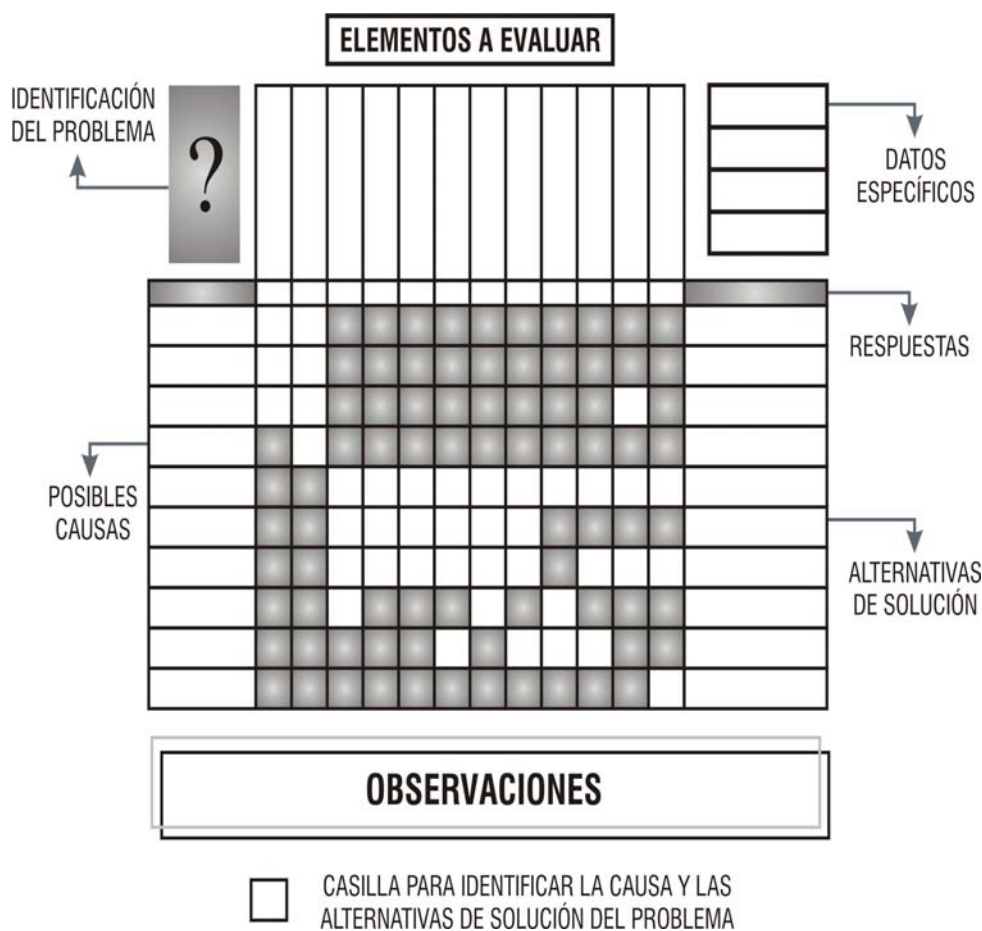


Figura 3.2.- Partes que constituyen la tabla guía de mejora
Fuente: Trinidad, O. A. & Eslava T. M. (2005)

Este instrumento de mejora va acompañado de un formato donde se concentran las alternativas de solución generadas a partir de la aplicación del mismo. En dicho formato se indica la sección, lugar de trabajo, maquinaria y el proceso involucrado, donde se implantara la alternativa de solución propuesta.

En la figura 3.3 a la 3.8 muestran las cinco tablas guía de mejora y el concentrado de alternativas.





SERVICIO Y DISTRIBUCIÓN DE SERVICIOS													
IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA ?	ESTA PROYECTADO EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE, AGUA, ELECTRICIDAD PARA UNA FACIL REDISTRIBUCIÓN DEL EQUIPO	SE HA PREVISTO UN EXCESO DE CAPACIDAD EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN, DE FORMA QUE PUEDA INSTALARSE EQUIPO ADICIONAL.	NECESITARA UNA REDISTRIBUCIÓN O AMPLIACIÓN DE UNA NUEVA SITUACIÓN DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS, TELEFÓNICAS, TUBERÍAS	ESTÁN TODAS LAS TUBERÍAS Y CONDUCTOS CLARAMENTE IDENTIFICADOS, CON LOS COLORES CORRESPONDIENTES DE SEGURIDAD	ESTÁN INSTALADOS A INTERVALOS CONVENIENTES LOS ENCHUFES, PANELES DE CONTROL, TOMA DE CORRIENTE, DE AIRE O VALVULAS	ESTÁN EXPUESTAS LAS LINEAS DE SEGURIDAD PARA QUE SU MANTENIMIENTO SEA FACIL	ESTÁN PROTEGIDAS LAS LINEAS DE SERVICIO CONTRA LA INTERFERIE, DEL DAÑO POR PARTE DEL EQUIPO DE MANEJO DE MATERIALES	EXISTEN DISPOSITIVO PROTECTORES, CUBIERTAS, PANTALLAS, AISLADORES Y SIMILARES, PARA PROTEGER EL EQUIPO, TRABAJADORES, CLIENTES	SON SUFICIENTES Y AMPLIOS LOS PASILLOS PARA RESIBIR EL VOLUMEN DE TRAFICO EN ESPERA	ESTÁN CLARAMENTE MARCADOS LOS PASILLOS, AREAS DE TRABAJO Y ANDENES	LOS PASILLOS Y LOS ANDENES DE ACCESO A LAS AREAS PRESENTAN DEMASIADOS OBSTACULOS	ÁREA DE TRABAJO: PINTURA <input type="checkbox"/> RASPADO <input type="checkbox"/> HOJALATERIA <input type="checkbox"/> ARMADO Y DESARMADO <input type="checkbox"/> EQUIPO: TAREA:	
	POSIBLES CAUSAS	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN
DEFICIENCIA EN EL PROYECTO DE INSTALACIÓN DE SERVICIOS													PROYECTAR ADECUACIONES DE INSTALACIONES EN SU CASO LA RECEPCIÓN DE LAS MISMAS
INSTALACIONES YA EXISTENTES (ANTIGUOS)													PROYECTAR ADECUACIONES DE INSTALACIONES EN SU CASO LA RECEPCIÓN DE LAS MISMAS
LIMITACIÓN DE ESPACIOS PARA FUTUROS CRECIMIENTOS													ACONDICIONAMIENTO Y AMPLIACIÓN DEL INMUEBLE DE MANERA VERTICAL CON PROYECTO DE ADECUACIÓN DE SERVICIO
DEFICIENCIA EN EL PROYECTO DE DISTRIBUCIÓN													MEJORAR EL PROYECTO DE DISTRIBUCIÓN
DE ACUERDO AL TIPO DE TAREA													PROPORCIONAR MEJORAS EN EL PROCESO A TRAVÉS DE LA ADQUISICIÓN DE MAQUINARIA MODERNA
LIMITACIÓN DE ESPACIO													PROYECTO DE AMPLIACIÓN DE INSTALACIONES DE MANERA VERTICAL
CARENCIA DE UN PROGRAMA DE CRECIMIENTO													PLANTAMIENTO DE NUEVOS PROCESOS DE RECEPCIÓN PARA NUEVAS UNIDADES
LIMITACIÓN DE INSTALACIONES DEL INMUEBLE													ADECUACIÓN DE INSTALACIONES DEL INMUEBLE PLANEACIÓN DE FUTURAS EXPANSIONES
DEFICIENTE O FALTA DE MANTENIMIENTO													IMPLEMENTAR PROGRAMA ADECUADO DE MANTENIMIENTO
DEFICIENTE PLAN DE DISTRIBUCIÓN DE EQUIPO													OPTIMIZAR Y/O MANEJAR EL PLAN DE DISTRIBUCIÓN DE MAQUINARIA
INMUEBLE MAL DISEÑADO													AMPLIACIÓN Y/O ACONDICIONAMIENTO DEL INMUEBLE
DEFICIENTE PROGRAMA DE MANTENIMIENTO													IMPLEMENTAR PROGRAMA ADECUADO DE MANTENIMIENTO
DEFICIENCIA EN EL PROGRAMA DE LAYOUT INSTALADO													MEJORAMIENTO Y ADECUACIÓN DEL PROGRAMA LAYOUT
CARENCIA DE PROGRAMA DE SEGURIDAD EN EL TALLER													ELABORACIÓN O AMPLIACIÓN DE PROGRAMAS DE SEGURIDAD EN EL TALLER
INAPROPIADAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL INMUEBLE													ACONDICIONAMIENTO Y USO ADECUADO DE LAS INSTALACIONES
DISEÑO INADECUADO DE PASILLOS PARA EQUIPOS DE TRANSPORTE Y PERSONAL													MEJORAMIENTO Y/O ACONDICIONAMIENTO DE PASILLOS PARA TRANSPORTE, EQUIPO Y PERSONAL
DEFICIENCIAS EN LA PLANEACIÓN DE LAS TAREAS DE REPARACIÓN													MEJORAMIENTO Y/O ADECUACIÓN DE LA TAREA DE RESEPCIÓN
LIMITACIÓN DE ESPACIO													PROGRAMA ADECUADO DE CRECIMIENTO DEL INMUEBLE
OBSERVACIONES													

Figura 3.3.- Tabla guía de servicios y distribución de servicios
 Fuente: Fuente: Trinidad, O. A. & Eslava T. M. (2005)





UTILIZACIÓN Y DISPOSICIÓN DE LAS ÁREAS DE TRABAJO										
IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA ?	HAY SUFICIENTE ESPACIO PARA QUE EL TRABAJADOR REALICE SUS TAREAS EN LA UNIDAD	ESTA BLOQUEADA LA UNIDAD POR OTRAS UNIDADES DE MANERA QUE NO PUEDEN MOVERSE	HAY ESPACIO SUFICIENTE ALREDEDOR DEL EQUIPO Y HERRAMIENTAS PARA UN FÁCIL MANTENIMIENTO	HAY ESPACIO PARA LAS HERRAMIENTAS, EQUIPO, MESAS PARA EL FUNCIONAMIENTO ADECUADO	EXISTE ESPACIO SUFICIENTE PARA LAS PIEZAS DE CARROCERIAS TRABAJADAS O NO TRABAJADAS	ES ACCESIBLE LA UNIDAD DE FORMA QUE EL TRABAJADOR PUEDA ALCANZAR Y ABANDONAR SU TRABAJO SIN PELIGRO	SE UTILIZA EL ESPACIO VERTICAL PARA ALMACENAMIENTO Y MANEJO DE MATERIALES	SON LAS ZONAS DE ALMACENAMIENTO ADECUADAS PARA LOS VOLUMENES ESPECIFICADOS	SON LAS ZONAS DEL SERVICIO DEL PERSONAL ADECUADAS PARA EL NÚMERO DE EMPLEADOS	ÁREA DE TRABAJO: PINTURA <input type="checkbox"/> RASPADO <input type="checkbox"/> HOJALATERÍA <input type="checkbox"/> ARMADO Y DESARMADO <input type="checkbox"/> EQUIPO: TAREA:
	POSIBLES CAUSAS	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN
UBICACIÓN DE LA UNIDAD JUNTO A UN MURO O PARED										1) REORIENTAR LA UBICACIÓN DE LAS UNIDADES 2) CAMBIAR DE LUGAR LAS UNIDADES
UBICACIÓN DE LA UNIDAD JUNTO A OTRA UNIDAD										1) REORIENTAR LA UBICACIÓN DE LAS UNIDADES 2) CAMBIAR DE LUGAR LAS UNIDADES
UBICACIÓN DE EQUIPO JUNTO A UN ANDEN										1) REORIENTAR LA UBICACIÓN DE LAS UNIDADES 2) CAMBIAR DE LUGAR LAS UNIDADES
SE ENCUENTRA INSTALADAS ENTRE LA PARED										APLICACIÓN DE LA SUPERFICIE DISTRIBUIDA
SE ENCUENTRA INSTALADA ENTRE DOS UNIDADES										APLICACIÓN DE LA SUPERFICIE DISTRIBUIDA
UBICACIÓN DE LA UNIDAD JUNTO A UNA REPARACIÓN										REORIENTAR LA UNIDAD, AISLAR LA UNIDAD O ACTIVIDAD DE RIESGO
NO HAY ESPACIO SUFICIENTE										AMPLIACIÓN DE INSTALACIONES
MALA UBICACIÓN DE LA HERRAMIENTA Y EQUIPO										REUBICACIÓN DEL GRUPO DE UNIDADES DEL ÁREA DE TRABAJO
BLOQUEO POR OTRAS UNIDADES O PROCESOS										PROGRAMACIÓN ADECUADA DE LAS OPERACIONES
POR LA CERCANÍA DE ANDENES										MODIFICACIÓN DEL PROCESO
POR LA CERCANÍA DE INSTALACIONES DE SERVICIO										REORDENACIÓN DE MAQUINARÍA MODIFICACIÓN DE INSTALACIONES AMPLIACIÓN DEL TALLER
MALA DESIGNACIÓN DEL ANDEN										REORDENACIÓN DE ANDEN ELIMINACIÓN DE ANDEN
DEFICIENTE DISTRIBUCIÓN DE MAQUINARIA Y EQUIPO										APROVECHAMIENTO DE ESPACIO CUBICO
CARENCIA DE UN SISTEMA DE MANEJO DE MATERIALES										ADECUACIÓN DEL SISTEMA DE MANEJO DE MATERIALES
DEFICIENCIA EN EL DISEÑO DE INSTALACIONES										DISEÑO ADECUADO DEL EQUIPO
DEFICIENCIA EN EL PROCESO DE REPARACIÓN										PLANEACIÓN ADECUADA DEL PROCESO
LIMITACIONES DE INSTALACIÓN										AMPLIACIÓN DE INSTALACIONES
MODIFICACIÓN DEL PROCESO										INSTALACIÓN DE ÁREAS EVENTUALES DE SERVICIOS
DEFICIENTE DISTRIBUCIÓN Y ASIGNACIÓN DE ÁREA										REDISTRIBUCIÓN Y ASIGNACIÓN DE ESPACIO
OBSERVACIONES										

Figura 3.4.- Tabla guía de utilización y disposición de las áreas de trabajo
Fuente: Fuente: Trinidad, O. A. & Eslava T. M. (2005)





ZONA DE ALMACENAMIENTO												
IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA ?	<p>ESTÁN SITUADOS EN LUGARES CONVENIENTES LOS ARMARIOS DE HERRAMIENTAS Y LAS ZONAS DE ALMACENAMIENTO</p> <p>PROPORCIONAN PROTECCIÓN LAS ZONAS DE ALMACENAMIENTO CONTRA HURTO O PÉRDIDA DE MATERIALES DE VALOR ELEVADO</p> <p>EXISTEN MEDIOS DE ALMACENAMIENTO ESPECIALES PARA LA PINTURA, ACEITE, ÁCIDO, PASTAS Y SOLVENTES</p> <p>COMPLICA LA SITUACIÓN DE LAS ZONAS DE ALMACENAMIENTO LA RECEPCIÓN LA COMPROBACIÓN DE INGENIEROS DE ENTRADA Y SALIDA</p> <p>PROVOCA LA SITUACIÓN ACTUAL DE ZONA DE ALMACENAMIENTO, UN INCREMENTO DE LONGITUD EN LOS TRAYECTOS DE GRANDES VOLUMENES DE MATERIALES Y REFACCIONES.</p> <p>LA DISPOSICIÓN DE LAS ZONAS DE ALMACENAMIENTO PERMITE EL EMPLEO DE MEDIOS MECÁNICOS DE MANEJO</p> <p>SE CUENTA CON LOS MEDIOS DE ALMACENAMIENTO, ESTANTES, CAJONES, RECIPIENTES PARA QUE SU LLENADO SEA FÁCIL</p> <p>ESTÁN CENTRALIZADAS O DESCENTRALIZADAS LAS INSTALACIONES DE ALMACENAMIENTO DE ACUERDO CON LAS NECESIDADES PARTICULARES</p> <p>LA ZONA DE ALMACENAMIENTO ESTÁN BIEN PLANIFICADAS Y EQUIPADAS PARA IDENTIFICARLAS SISTEMÁTICAMENTE POR COLORES Y LETREROS VISIBLES DE LOS ARTICULOS EN LAS ZONAS</p> <p>SE HACE USO APROPIADO DEL ESPACIO VERTICAL EN LAS ZONAS DE ALMACENAMIENTO ENTRE SUELOS CARGAS DISPUESTAS PARA SU TRANSPORTE</p> <p>ESTÁN SITUADAS LAS ZONAS DE ALMACENAMIENTO EN PROCESO PARA OBTENER UN RENDIMIENTO MÁXIMO DEL SISTEMA DE MANEJO DE MATERIAL</p>											
	<p>ÁREA DE TRABAJO:</p> <p>PINTURA <input type="checkbox"/> RASPADO <input type="checkbox"/></p> <p>HOJALATERÍA <input type="checkbox"/> ARMADO Y DESARMADO <input type="checkbox"/></p> <p>EQUIPO:</p> <p>TAREA:</p>											
POSIBLES CAUSAS	NO	NO	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN
DEFICIENCIA EN EL PROYECTO LAYOUT INSTALADO												MEJORAMIENTO Y/O ADECUACIÓN DEL PROYECTO DE LAYOUT
INADECUADAS INSTALACIONES FÍSICAS DEL TALLER												ADECUACIÓN Y/O MEJORAMIENTO DE LAS INSTALACIONES DEL TALLES
DEFICIENCIAS EN LA PLANEACIÓN DE LA TAREA DE REPARACIÓN												MEJORAMIENTO DE LA PLANEACIÓN DE LA TAREA DE RECEPCIÓN
DEFICIENCIA EN LA TAREA DE RECEPCIÓN												MEJORA EN LA TAREA DE RECEPCIÓN DE UNIDADES
LIMITACIONES DE INSTALACIONES POR DISEÑO DEL TALLER												ADECUACIÓN O AMPLIACIÓN DEL TALLER
CARENCIA O DEFICIENCIA DE UN PROGRAMA DE SEGURIDAD E HIGIENE												IMPLEMENTACIÓN Y/O MEJORA DE PROGRAMA DE SEGURIDAD E HIGIENE
DEFICIENTE SISTEMA DE MANEJO DE MATERIALES												MEJORA DEL SISTEMA DE MANEJO DE MATERIALES
DEFICIENCIAS EN EL PROCESO DE RECEPCIÓN Y ACABADO												MEJORA EN LA PLANEACIÓN DEL PROCESO DE REPINTADO Y ACABADO
OBSERVACIONES												

Figura 3.5.- Tabla guía de zona de almacenamiento
 Fuente: Fuente: Trinidad, O. A. & Eslava T. M. (2005)





FACTORES PARA LA COLOCACIÓN DEL EQUIPO

IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA ?

ESTA SITUADA LA UNIDAD EN LA POSICIÓN ADECUADA PARA EL SUMINISTRO Y ELIMINACIÓN DE MATERIALES QUE PERMITA EL USO EFECTIVO DEL ESPACIO

ESTA LA UNIDAD EN LA UBICACIÓN EN LA QUE SE APROVECHE EL ALUMBRADO TOTAL NATURAL COMO EL ALUMBRADO ARTIFICIAL

ES LA SITUACIÓN SEGURA DE LAS UNIDADES Y EQUIPO EN LO REFERENTE EN PARTICULAR QUE GENERAN OTRAS UNIDADES EN RECUPERACIÓN COMO EXPLOSIVOS , MOVIMIENTO DE EQUIPO

LA SITUACIÓN SOMETE AL TRABAJADOR A EXCESIVO CALOR, RUIDO, CORRIENTE DE AIRE O POLVO DE OTRAS UNIDADES DE PROCESO

ESTA LA UNIDAD ADECUADAMENTE SITUADA EN RELACIÓN CON LA SECUENCIA DE OPERACIONES

LA HERRAMIENTA Y/O EQUIPO CUENTA CON LA SITUACIÓN NECESARIA PARA SU ADECUADO FUNCIONAMIENTO

ÁREA DE TRABAJO:

PINTURA RASPADO

HOJALATERÍA ARMADO Y DESARMADO

EQUIPO:

TAREA:

POSIBLES CAUSAS	NO	NO	SI	NO	NO	NO	ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN
DEFICIENTE DISTRIBUCIÓN DEL EQUIPO							REDISTRIBUCIÓN ADECUADA DEL EQUIPO
DEFICIENTE DISTRIBUCIÓN DE INSTALACIONES							ACONDICIONAMIENTO Y APROVECHAMIENTO DE INSTALACIONES Y ESPACIO
DEFICIENTE PLANEACIÓN DEL PROCESO							OPTIMIZACIÓN Y ADECUACIÓN DEL ESPACIO
DEFICIENTE DISEÑO DE INSTALACIONES (TALLER)							ACONDICIONAMIENTO O AMPLIACIÓN DE INSTALACIONES DE SERVICIO
DEFICIENTE DISEÑO DE INSTALACIONES DE SERVICIO							IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA DE INSTALACIONES DE ACUERDO A LA INSTALACIÓN HERRAMENTAL Y EQUIPO
DEFICIENTE PROYECTO DE DISTRIBUCIÓN							REORDENAMIENTO DE HERRAMIENTA Y EQUIPO
INSTALACIONES INADECUADAS							MODIFICACIÓN Y/O AMPLIACIÓN DE INSTALACIONES
EQUIPO Y/O HERRAMIENTA OBSOLETA							PROYECTO DE RENOVACIÓN DE EQUIPO Y/O EN SU CASO ADECUACIÓN DEL MISMO
PROCESO INADECUADO							MODIFICACIÓN DEL PROCESO
CARECE DE EQUIPO DE SEGURIDAD APROPIADO							IMPLEMENTACIÓN DE EQUIPO DE SEGURIDAD APROPIADO
INSTALACIONES DEFICIENTES							ADECUACION DE INSTALACIONES

OBSERVACIONES

Figura 3.6.- Tabla guía de factores para la colocación del equipo
Fuente: Fuente: Trinidad, O. A. & Eslava T. M. (2005)





INSTILACIÓN DEL PERSONAL

IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA ?

ESTÁN LAS ENTRADAS DE LOS EMPLEADOS A DISTANCIAS DEMASIADO ALEJADAS DE LAS ZONAS DE TRABAJO	SE HAN INSTALADO EL NÚMERO SUFICIENTE DE LAVABOS, VESTIDORES Y DUCHAS EN EL ÁREA DE TRABAJO	SE ENCUENTRAN FUENTES DE AGUA, E HIDRATANTES CERCANOS AL PERSONAL	ESTÁN SITUADOS DE MANERA CONVENIENTE LAS ZONAS DE TRABAJO Y LA UNIDAD DE PRIMEROS AUXILIOS	ESTÁN TODAS LAS INSTALACIONES DE PERSONAL AMPLIAMENTE VENTILADAS EN ESTADO LIMPIO Y PLANIFICADAS PARA FACIL MANTENIMIENTO
---	---	---	--	---

ÁREA DE TRABAJO:

PINTURA RASPADO

HOJALATERIA ARMADO Y DESARMADO

EQUIPO:

TAREA:

POSIBLES CAUSAS	SI	NO	NO	NO	NO	ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN
DEFICIENTE PROGRAMA DE DISTRIBUCIÓN						MEJORAR EL PROYECTO DE DISTRIBUCIÓN
LIMITACIÓN DE INSTALACIONES POR DISEÑO ORIGINAL DEL INMUEBLE						ADECUACIÓN Y/O AMPLIACIÓN DEL INMUEBLE
CARENCIA O DEFICIENCIA DE UN PROGRAMA DE SEGURIDAD E HIGIENE						IMPLEMENTACIÓN DE UN PROGRAMA DE SEGURIDAD E HIGIENE

OBSERVACIONES

Figura 3.7.- Tabla guía de instalación de personal
Fuente: Fuente: Trinidad, O. A. & Eslava T. M. (2005)

CONCENTRADO DE ALTERNATIVAS

ÁREA DE TRABAJO	EQUIPO	TAREA	ALTERNATIVA

Figura 3.8.- Tabla de concentrado de alternativas
Fuente: Fuente: Trinidad, O. A. & Eslava T. M. (2005)





El uso de las tabla guía. Para facilitar el uso de las referidas guías de mejora, los cinco elementos generales que afectan cualquier tipo de distribución de organizaciones de bienes o servicios, se diseñaron tablas que contiene la identificación de la problemática presentada, así como sus posibles causas y sus respectivas alternativas de solución, por lo que para su llenado, se describe el procedimiento siguiendo la solución del ejemplo.

1. Indicar en la sección superior derecha del formato, el área, el lugar de trabajo, la maquina y la etapa del proceso donde se realiza el estudio.
2. Identificar el problema, utilizando cada uno de los conceptos enunciados en la barra superior del formato.
3. Una vez identificado el problema, constatar las posibles causas que lo originan, siguiendo la columna vertical correspondiente al referido problema, utilizando únicamente las casillas blancas; que en sentido horizontal, en la parte izquierda se identifican las causas y se colocará una “x” en la casilla respectiva. Se continúa la fila marcando, se llega al a alternativa de solución.
4. Para cualquier aclaración o recomendación, se llenara el cuadro dispuesto para aclaraciones.
5. Se sigue con la identificación de la problemática en el mismo orden, así como su respectiva aplicación secuencial de los pasos dos y tres.
6. Una vez llenados los formatos, y concentrados en el formato “concentrado de alternativas”, se procede a describir la problemática y la sugerencia correspondiente, a la solución. (Ver fig. 3.9.)

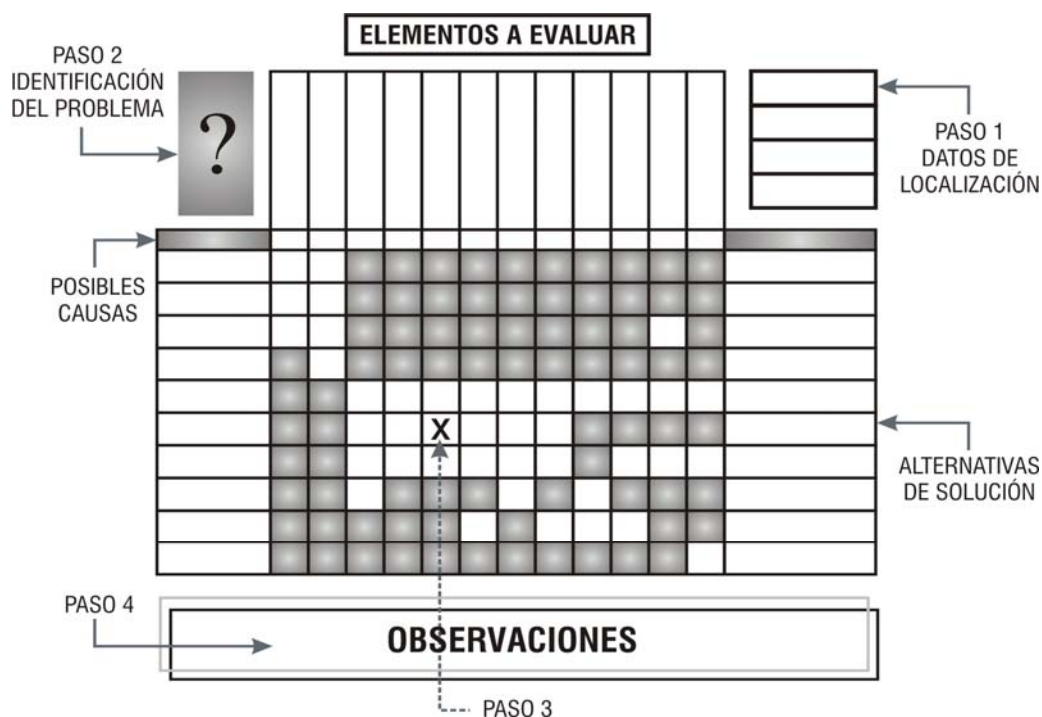


Figura 3.9: Tablas guía de utilización y disposición de las áreas de trabajo
Fuente: Fuente: Trinidad, O. A. & Eslava T. M. (2005)





Propuestas de mejora (etapa II). Derivado de la información previamente recopilada, analizada a través de las hojas guía de mejora propuestas, se obtienen datos que servirán de base para que el responsable del proyecto auxiliándose de los planos de las instalaciones donde se muestra el proceso actual presentado por el layout, que servirá como referencia para que utilizando modelos a escala de la maquinaria y equipo, se desarrolle la propuesta de mejora de distribución en planta que permite optimizar el proceso en lo referente a mejorar el proceso de recorrido o secuencia de operaciones, reducción del tiempo de proceso mejor aprovechamiento de maquinaria y espacio, que sea segura y satisfactoria para los empleados, comparándose con la distribución instalada a efecto de visualizar los beneficios obtenidos, dicha propuesta se acompañara del calendario de actividades propuesta para la instalación del proyecto, por medio de un grafico y diagrama de Gantt.

3.3.2 Método S.L.P. *Systematic Layout Planning*

(Planeación sistemática de la distribución en planta).

Este método fue desarrollado por Richard Muther, un especialista reconocido internacionalmente en materia de planeación de fábricas, quién ha recopilado los distintos elementos utilizados por los Ingenieros Industriales para preparar y sistematizar los proyectos de distribución, además de que ha desarrollado sus propios métodos entre los que se encuentran⁵:

- **S.P.I.F.** *Systematic Planning of Industrial Facilities.*
(Planificación sistemática de Medios Industriales)
- **S.H.A.** *Systematic Handling Analysis.*
(Análisis del Manejo sistemático.)
- **M.H.A.** *Material Handling Analysis.*
(Análisis del Manejo de material.)

En algunos de ellos es coautor junto con Les Hales, Knut Haganas, John A. White, Richard Meyer y otros, algunos de los cuáles pertenecen a su despacho "Richard Muther & Associates, Ind." en Kansas City, Missouri, E.U.A.

El método S.L.P., es una forma organizada para realizar la planeación de una distribución y está constituida por cuatro fases, en una serie de procedimientos y símbolos convencionales para identificar, evaluar y visualizar los elementos y áreas involucradas de la mencionada planeación. Esta técnica, incluyendo el método simplificado, puede aplicarse a oficinas, laboratorios, áreas de servicio, almacén u operaciones manufactureras y es igualmente aplicable a mayores o menores readaptaciones que existan, nuevos edificios o en el nuevo sitio de planta planeado.

⁵ Según Richard Muther & Associates (www.hpcinc.com/rma.html)





El método S.L.P., consiste en un esqueleto de pasos, un patrón de procedimientos de la planeación sistemática de la Distribución en Planta y un juego de conveniencias. El diagrama de bloques de la figura 3.10 da una visión general del SLP., donde el estudio empieza con la recogida de información sobre productos, cantidades, proceso y servicios. Esta información deberá incluir los datos referentes al momento actual, si se trata de un sistema productivo en funcionamiento, pero en cualquier caso debe incluir elementos que permitan efectuar previsiones, con esta información se procede, por una parte, al estudio de la circulación de materiales (bloque 1). Por otra, al de las relaciones entre actividades que no implican movimiento de materiales o en que este movimiento es insignificante (bloque 2).

La importancia relativa de ambos aspectos es muy variada; desde sistemas como los procesos de manufactura en que el movimiento de materiales es predominante hasta otros como una oficina en que tiene muy poca importancia o incluso es prácticamente inexistente. Ambos estudios confluyen en la actividad correspondiente al bloque 3 del diagrama al establecer el denominado diagrama de relaciones, un instrumento para expresar sintéticamente la evaluación de la importancia de los intercambios entre los diversos centros de actividad. El diagrama de relaciones no incluye ninguna estimación de las necesidades de espacio, estas han de ser evaluadas (bloque 4) y también se ha de tener en cuenta naturalmente el espacio disponible (bloque 5) para establecer el diagrama de relación de espacios (bloque 6) que incorpora al diagrama de relación información sobre la superficie que deberá ser asignada a cada centro de actividad.

El diagrama de relación de espacios es la base para generar diversas distribuciones en planta (bloque 9), para lo que se habrá de considerar los factores influyentes y las limitaciones prácticas (bloques 7 y 8, respectivamente). Conviene señalar aquí la importancia de obtener un cierto número de soluciones suficientemente variadas, ni siquiera en los casos más simples un problema de distribución en planta tiene una solución única y la calidad de unas u otras puede ser muy distinta; una solución mala puede parecer en un momento dado la mejor posible porque se ha elegido mal el esquema básico de la distribución y no han sido consideradas otras opciones.

Finalmente, se procederá a la selección de una distribución (10) entre las obtenidas en la fase anterior. En el conjunto cabe distinguir tres fases: la de análisis (bloques 1 a 5), la de búsqueda (bloques 6 a 9) y la de selección, constituida por el bloque 10. Para un mayor entendimiento a continuación se describen con mayor detalle cada uno de sus pasos principales, desde luego, la exposición se basa, en sus líneas generales, en las publicaciones del propio Muther pero no necesariamente coincide con ellas en todos los aspectos, no porque se cuestione aquí la validez del SLP sino porque el mismo método, es flexible y admite variantes en diversos puntos.



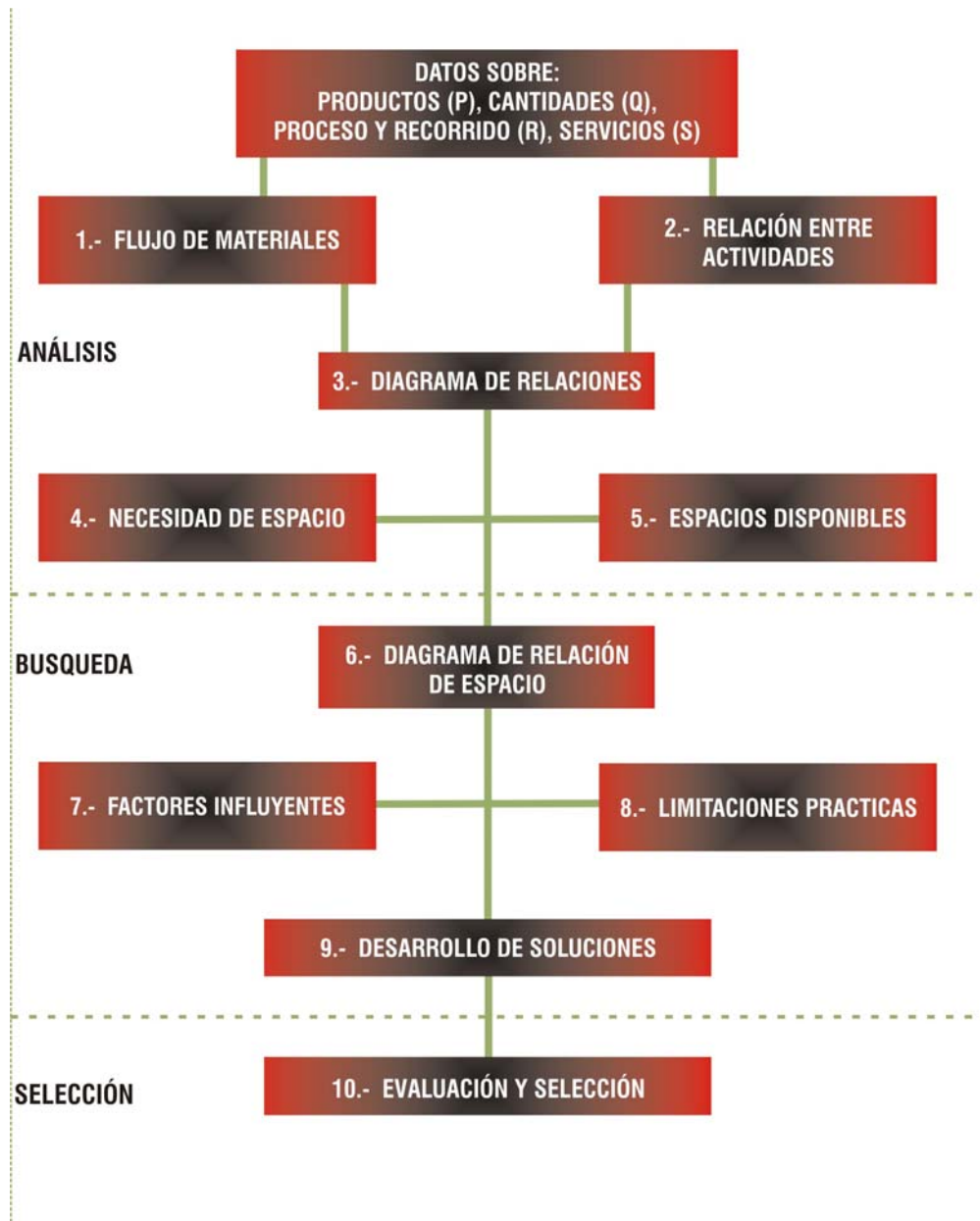


Figura 3.10.- Esquema general del método SLP
Fuente: Muther, R. (1986)

Recogida y análisis de información sobre el volumen de producción. Lógicamente, el primer paso en el proceso de diseño de una distribución en planta es conocer qué se ha de producir y en qué cantidades, puesto que una distribución en planta no es efímera y cambiada o ampliarla es costoso, especialmente si la modificación no ha sido prevista en el diseño inicial, se ha de disponer de previsiones para cierto horizonte temporal. Esto es lo que Muther denomina análisis P-Q (producto-cantidad -*quantity* en inglés-), cuyo elemento principal es el gráfico P-Q. En él las ordenadas corresponden a las cantidades de cada producto o grupo de productos, y éstos figuran en abscisas, según el orden decreciente de dichas cantidades (figura 3.11).



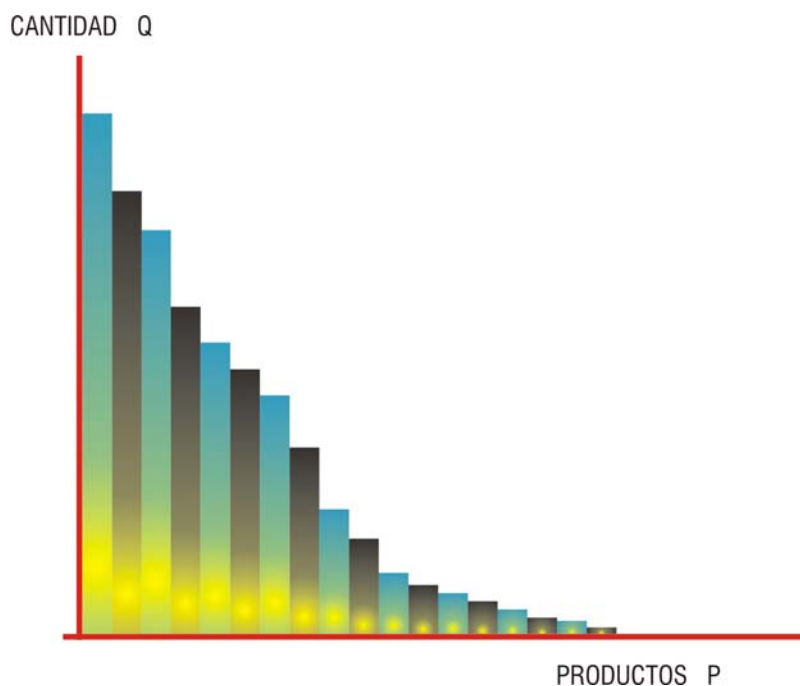


Figura 3.11.- Gráfica P-Q
Fuente: Coromias, A. (1991)

Los gráficos son una ayuda (ver anexo C), pero no es ésta la única forma de representación posible, lo importante es la idea subyacente al gráfico P-Q y a muchos aspectos de lo expuesto en este apartado, a saber, que cuando se trata de estudiar un conjunto algo numeroso de objetos es conveniente clasificarlos de acuerdo con su importancia y dedicar al tratamiento de cada uno de los grupos así formados recursos proporcionados a dicha importancia. Esto parece trivial; pero al parecer no es obvio puesto que, espontáneamente no todo el mundo procede así, obsérvese que esta misma idea está en la base de la que se suele denominar curva ABC (que interviene en la gestión de stocks o en el análisis diversificación o simplificación de productos) o del gráfico que se utiliza en la gestión de la calidad para analizar la importancia relativa de los defectos o de las causas de los mismos, y que se denomina entonces curva de Pareto, cuya denominación remite al economista italiano que empleó una curva semejante en sus estudios sobre la distribución de la renta.

Movimiento de materiales. Como se ha mencionado antes no es el único aspecto a tener en cuenta al diseñar la distribución en planta y muchas veces no es ni siquiera el más importante, no cabe duda de que en las industrias de transformación y montaje el movimiento de materiales es la clave del planteamiento.

Símbolos y diagramas. Para su estudio se ha de partir de la descripción del proceso, para la cual es indispensable utilizar instrumentos adecuados; tales instrumentos no son privativos de los estudios de distribución en planta; al contrario, son o pueden ser los mismos que se utilizan, ya con una larga tradición en los estudios de métodos.





Hay una amplia variedad de símbolos, gráficos y tablas, que muchas veces pueden adaptarse a las necesidades de una aplicación concreta sin alterar sus características esenciales. Se elegirá en cada caso el instrumento adecuado al nivel de detalle que se desee y al objetivo que se persiga, los símbolos más empleados son los de la ASME (Asociación Estadounidense de Ingenieros Mecánicos) se recomienda ver anexo D, de ellos, sólo dos, los de operación e inspección o control (y tal vez el de almacenamiento) aparecen en el denominado *diagrama de operaciones* o *cursograma sinóptico*⁶ ver la figura 3.12.

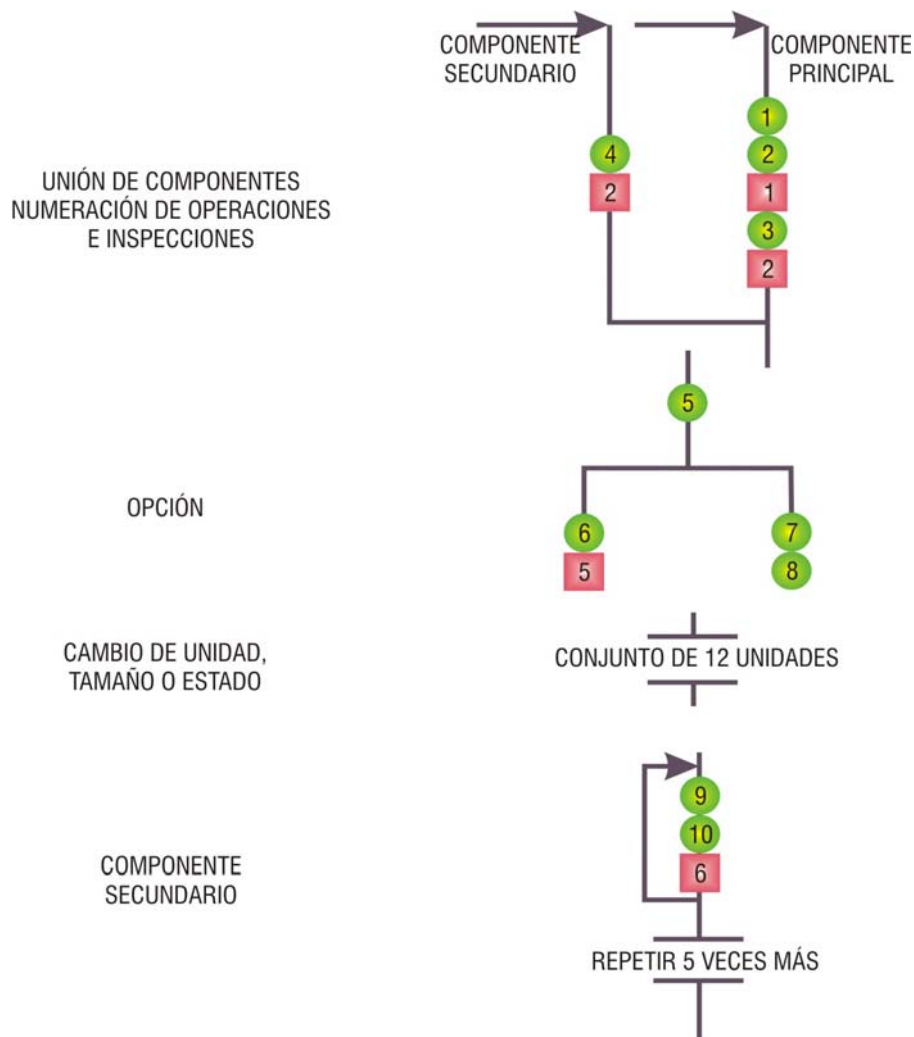


Figura 3.12.- Representaciones convencionales en los diagramas de operaciones
Fuente: Coromías, A. (1991)

En el diagrama analítico de operaciones del proceso, la presentación de los gráficos es muy diversa, desde un formato libre que permite dibujar un diagrama del aspecto parecido al de operaciones, pero con más información, hasta impresos como se muestra en la figura 3.13, que imponen una cierta rigidez pero homogenizan el aspecto de los diagramas y facilitan su elaboración.

⁶ Según el libro, Organización Internacional del Trabajo, OIT. (2000).





CURSOGRAMA ANALÍTICO		MATERIAL						
DIAGRAMA núm. 3	HOJA núm. 1	R E S U M E N						
Objeto: Cajón de piezas 8 x 4.87 (10 por cajón, en cajas de cartón)	ACTIVIDAD: Recibir, comprobar, inspeccionar y numerar piezas, almacenarlas en cajones.	ACTIVIDAD	ACTUAL	PROPUESTA	ECONOMÍA			
		OPERACIÓN	2					
MÉTODO ACTUAL	LUGAR: Departamento de recepción	TRANSPORTE	11					
OPERARIO (S)	FICHA No.	ESPERA	7					
COMPUESTO POR:	FECHA:	INSPECCIÓN	2					
APROBADO POR:	FECHA:	ALMACÉN	1					
		COSTO por cajón						
		MANO DE OBRA						
		MATERIAL	\$ 10.19					
		TOTAL	\$ 10.19					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (1 caja)	DISTANCIA (metros)	TIEMPO (min)	SIMBOLO ● → □ ▼			OBSERVACIONES	
Sacado de camión colocado en plano inclinado		1.2					2 Peones	
Deslizado por plano inclinado		6	10				2 Peones	
Deslizado hasta almacén y apilado		6					2 Peones	
Espera hasta apertura		---	30					
Cajón bajado		---						
Destapado, nota de entrega sacado		---	5				2 Peones	
Cajón colocado en carretilla		1						
Acarreado hasta banco de recepción		9	10				2 Peones	
Espera hasta descarga de carretilla		---	2					
Cajón colocado en carretilla		1					2 Peones	
Cajas cartón extraídas, abiertas, contenido verificado, colocado de nuevo		---	15				Encargado de almacén	
Cajón colocado en carretilla		1	2				2 Peones	
Demora en espera de traslado		---	5					
Cajón acarreado a banco de inspección		16.5	10				1 Peón	
Espera hasta inspección		---	10				Cajón en carretilla	
Piezas extraídas de cajón y cajas, cotejadas con diseño, embañadas de nuevo		1	20				Inspector	
Espera del carretillero		---	5				Cajón en carretilla	
Cajón acarreado a banco de numeración		9	5				1 Operario	
Espera para ser numerado		---	15				Cajón en carretilla	
Piezas extraídas de cajón y cajas, numeradas y embaladas de nuevo		---	15				Peón de almacén	
Espera del carretillero		---	5				Cajón en carretilla	
Cajón llevado al puesto de distribución		4.5	5				1 Peón	
Puesto en deposito								
Total		56.2	174	2	11	7	2	1

Figura 3.13.- Un diagrama analítico de recepción, inspección y numeración de piezas de una empresa de construcciones mecánicas
Fuente: Organización Internacional del Trabajo, OIT. (2000)





Los diagramas de recorrido: Son de hecho, diagramas analíticos de las operaciones del proceso dibujados sobre representaciones a escala de la sección o secciones donde el proceso se lleva a cabo de tal forma que los símbolos ASME de cada acción se dibujan en la posición del lugar en que se realizan. Las figuras 3.14 y 3.15 incluyen, respectivamente, el diagrama de recorrido de un proceso existente y el nuevo planteamiento, obtenido a partir del análisis crítico anterior.

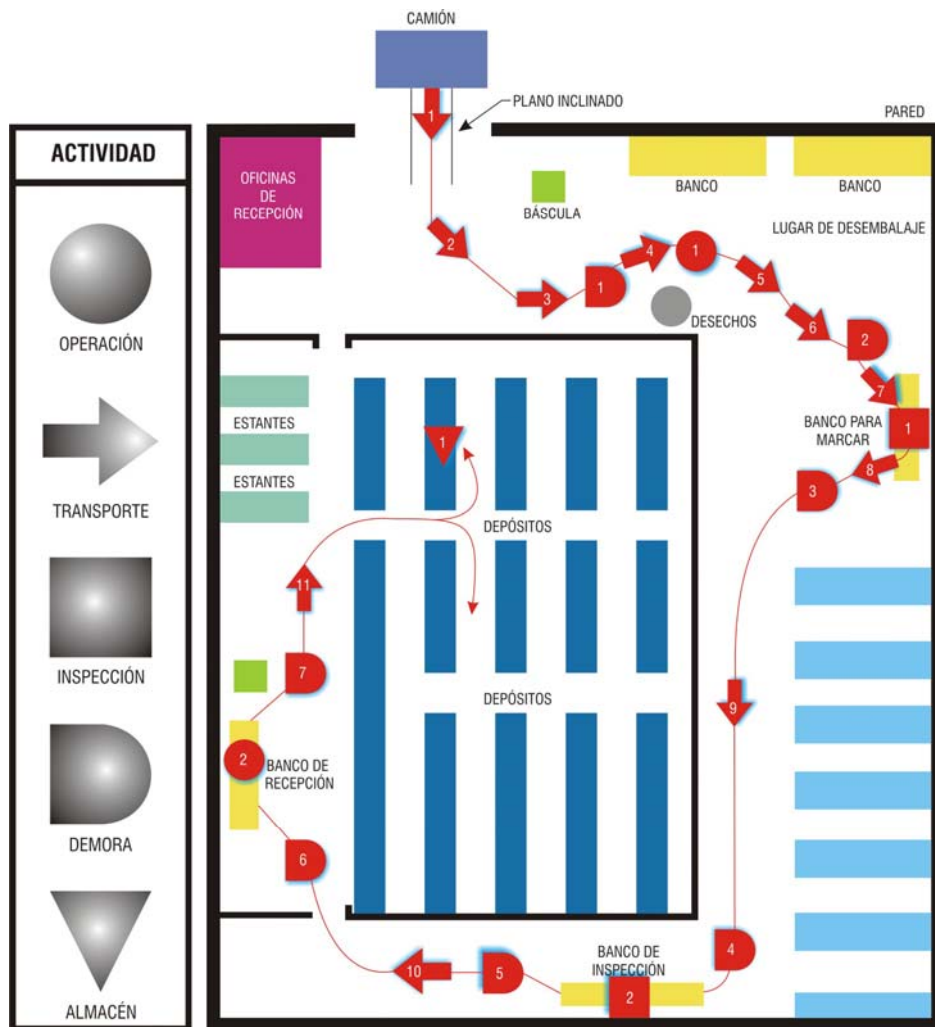


Figura 3.14.- Diagrama de recorrido correspondiente al método antiguo de recepción, inspección y numeración de piezas de la figura 3.13

Fuente: Organización Internacional del Trabajo, OIT. (2000)

Tipos de recorrido. Una vez obtenida y analizada la información sobre el proceso correspondiente a los diversos grupos de productos, cabe establecer un esquema del recorrido, que dará una idea de la distribución en lo que se refiere a las secciones implicadas en el movimiento de materiales. De hecho más que un esquema pueden ser varios porque el análisis P-Q puede haber llevado a la conclusión de que conviene un tratamiento muy distinto para unos u otros grupos de productos (desde puestos de trabajo individuales para artículos de baja producción hasta cadenas de montaje para los de gran volumen de ventas).



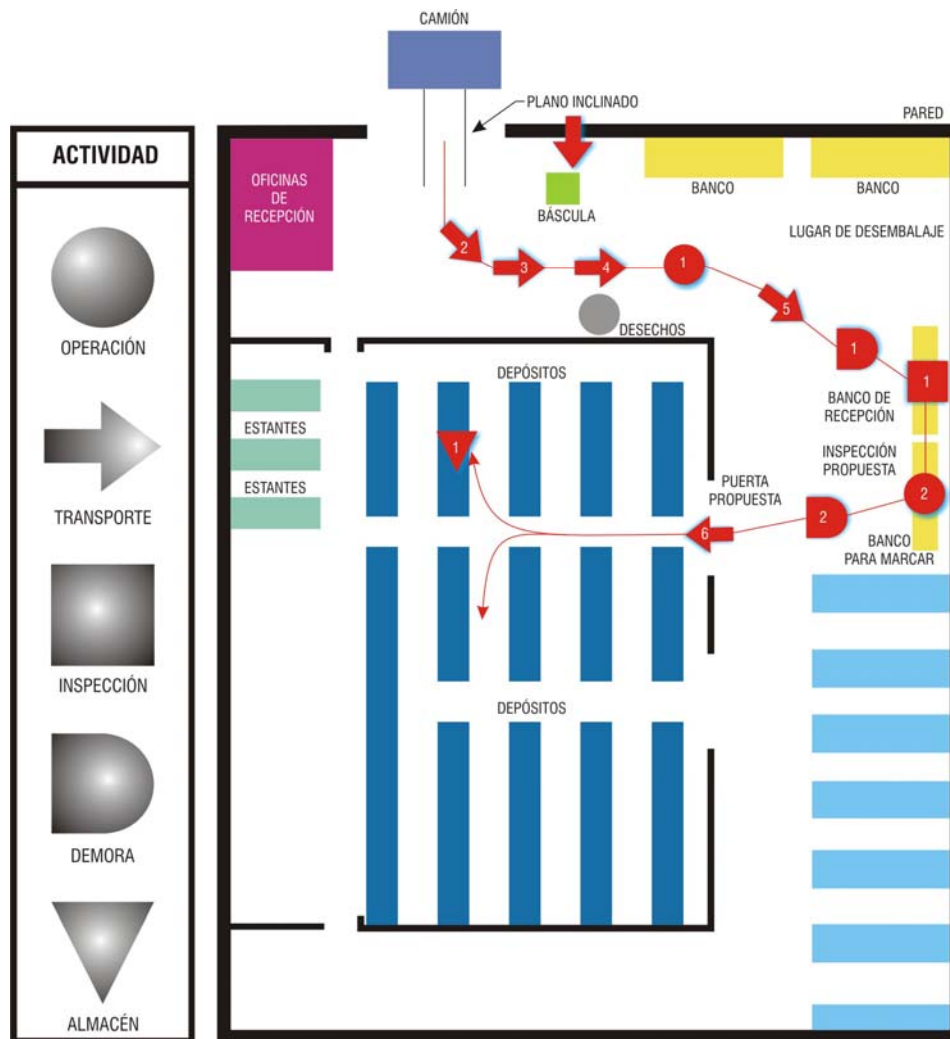


Figura 3.15.- Diagrama de recorrido correspondiente al método nuevo para la recepción, inspección y numeración de piezas que refiere a la figura anterior
Fuente: Organización Internacional del Trabajo, OIT. (2000)

Antes de entrar en detalles conviene plantearse la forma general de flujo, que condiciona la distribución y que a su vez está condicionada por consideraciones de costo y de disponibilidad de espacio. Las figuras 3.16 y 3.17 contienen algunos esquemas de flujo horizontal y vertical, respectivamente.

Sea cual sea el tipo de recorrido adoptado, hay una gran variedad de soluciones razonables. Determinar la óptima es un problema muy difícil, más incluso que el de *asignación cuadrática*, dicha mayor dificultad proviene que aquí se ha de tener en cuenta, de forma explícita, las necesidades de espacio lo que, por una parte, obliga a una estimación de las mismas, tal como se discutirá más adelante, y, por otra, complica los procedimientos de optimización que de todas formas, se inspiran en los correspondientes al problema de asignación cuadrática. Estas complicaciones, de todas formas, no aparecen únicamente ligadas al movimiento de materiales sino a cualquier conjunto de relaciones entre actividades.



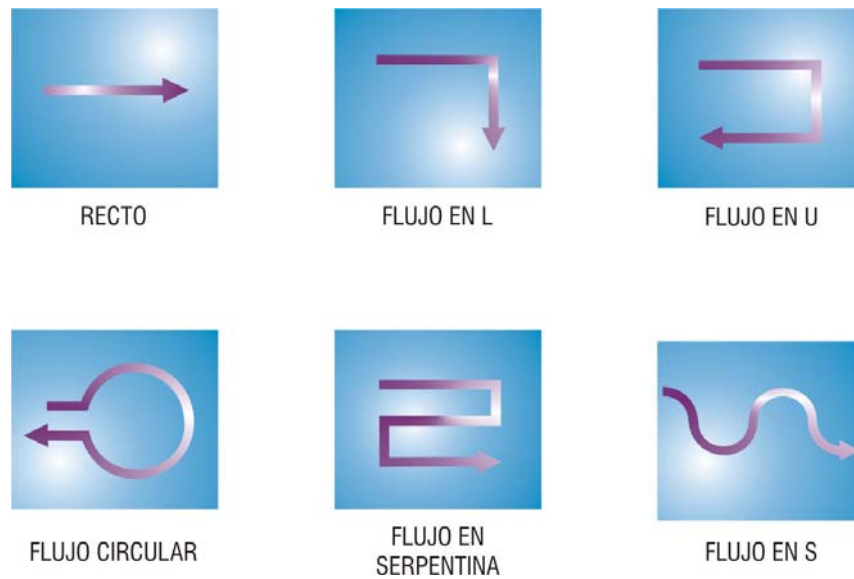


Figura 3.16.- Seis patrones de flujo horizontal
Fuente: Nahmias, S. (1999)

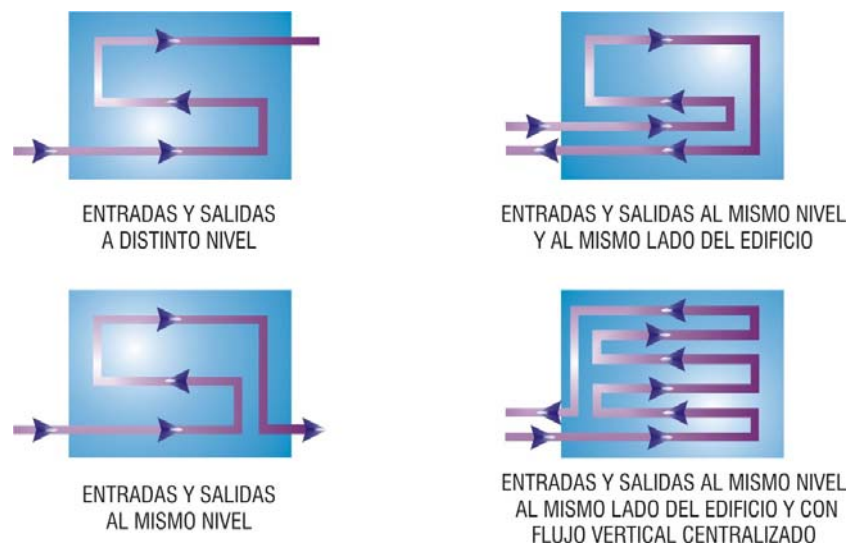


Figura 3.17.- Algunos esquemas de flujo vertical
Fuente: Coromias, A. (1991)

Relaciones entre actividades. El movimiento de materiales es un aspecto de mayor o menor importancia en el planteamiento de la distribución en planta, pero desde luego nunca es el único a tener en cuenta, ni siquiera en las industrias típicamente manufactureras. En éstas, algunas veces el movimiento de materiales puede incluso tener poca importancia por el escaso volumen, o peso de los productos; en cualquier caso, se ha de prever una asignación de espacio para servicios anexos (como el de mantenimiento, oficinas, lavabos, etc.) que no se encuentran en el itinerario que siguen los





materiales pero cuya relación con el mismo tiene una incidencia evidente sobre el costo.

En definitiva, lo que se ha de tener en cuenta al plantear la distribución en planta no sólo es el recorrido de los elementos materiales sino en general cualquier circulación o relación que tenga lugar en el seno del sistema productivo, tanto si implica un movimiento de materiales más o menos pesados como si se trata de circulación de documentos o desplazamientos de equipos o personas, que pueden ser clientes o empleados de la propia empresa o de otras que les presten sus servicios.

Una forma concreta de organizar y presentar de forma compacta esta información es una tabla tal como la que aparece en la figura 3.18 (tabla de relaciones, en la terminología del SLP), que muestra asimismo los símbolos recomendados por Muther para su utilización, los cuales han tenido por cierto una aceptación bastante general.

Por supuesto, cabría utilizar cualquier otra forma de representación equivalente; de hecho se trata de una matriz simétrica en que los elementos de la diagonal principal carecen de significado, la tabla de la figura permite recoger esta información sin desperdiciar espacios y sin redundancias.



Figura 3.18.- Tabla de relación de actividades
Fuente: Richard Muther & los Socios

Necesidades y disponibilidad de espacios. En este punto requiere ya la estimación de la superficie necesaria para cada centro de actividad, desde luego, tal estimación puede haberse realizado antes de elaborar el diagrama de relación de actividades.





¿Cómo llevar a cabo la estimación de las superficies? Este es un punto delicado porque el espacio es caro, por lo que convendría ser muy precisos, pero la precisión que muchas veces será más supuesta que real, puede conducir a un sistema muy vulnerable a los cambios o a los errores de planteamiento. No se puede ser excesivamente preciso, pues, en el sentido de que se debe realizar, desde luego, las estimaciones con toda la precisión de que se sea capaz pero introduciendo siempre un cierto margen. Los procedimientos a utilizar son muy diversos y la elección entre ellos depende del nivel de detalle a que se esté realizando el estudio, así como de la información disponible y de la experiencia de que dispongan los responsables del estudio sobre el sector o tipo de actividad a que se corresponda la distribución en planta.

Por otra parte, la estimación de superficies presenta dos peligros, a saber, hacer una estimación equivocada y olvidarse de asignar espacio para alguna actividad. Incurrir en este último error no es nada difícil, especialmente si no se cuenta con alguna experiencia; para evitado es conveniente recurrir a listas, tal como la que se presenta en la tabla 3.1.

Una vez determinadas las necesidades de espacio para cada centro de actividad se debe confrontar este resultado con las disponibilidades reales representado en el bloque número 5 del diagrama SLP. Si los locales no existen puede haber una limitación global para el espacio disponible, por razones económicas; además, aún en este caso si se ha fijado ya el solar en que se ubicarán las instalaciones, su forma y las normas de tipo urbanístico a que se encuentre sometida su utilización pueden determinar no sólo la superficie máxima de que pueda disponerse sino también una cierta fragmentación de la misma (por ejemplo, diversas plantas de un edificio) que condicionará fuertemente la distribución. Todo ello sucederá también con mayor motivo, cuando los locales existan antes del estudio de distribución.

Tabla 3.1.- Actividades o funciones que requieren espacio

UNA RELACIÓN DE ACTIVIDADES O FUNCIONES QUE REQUIEREN ESPACIO		
▲ Almacén de materias primas.	▲ Obras en curso.	▲ Almacén de productos terminados.
▲ Pasillos.	▲ Recepción y expedición de materia prima.	▲ Almacén de equipos móviles.
▲ Almacén de herramientas	▲ Mantenimiento.	▲ Embalaje.
▲ Mandos.	▲ Inspección y control de calidad.	▲ Instalaciones médicas, y botiquines.
▲ Cantina, comedor, etc.	▲ Baños, lavabos y regaderas.	▲ Oficinas.
▲ Apartamento para empleados y visitas.	▲ Apartamento vehículos de transporte, muelles, etc.	▲ Almacén de materiales fungibles y varios.

Fuente: Maynard, H. (2001)





Desarrollo, presentación y elección de soluciones. Las soluciones a comparar resultarán del diagrama de relación de espacios teniendo en cuenta aspectos de que se habrá prescindido, en mayor o menor medida, hasta ese momento que corresponden a los bloques número 7 y 8 del diagrama SLP. Teniendo en cuenta todos los condicionamientos desde el inicio del estudio es muy difícil y además tiende a restringir más de lo conveniente el planteamiento de esquemas de solución; por otra parte, no se puede prescindir por completo, hasta una fase tan avanzada del estudio como la que ahora se comenta, de tales condicionamientos porque se corre el peligro de producir planteamientos inviables.

En una presentación formal un método aparece casi siempre como una secuencia rígida de actividades, en cada una de las cuales sólo se tienen en cuenta los resultados obtenidos en las anteriores; en la práctica la aplicación de un método suele evocar más la figura de la espiral que la recta: se trata de un proceso iterativo en que cada ciclo corresponde a un determinado nivel de profundidad y en el cual, al realizar una actividad se tiene en cuenta cuáles van a sucederle.

La obtención de soluciones mencionado en el bloque 9 del diagrama SLP es un proceso que exige creatividad y que debe desembocar en un cierto número de propuestas más de una, pero no muy numerosas, no más de cinco en cualquier caso, elaboradas de forma suficientemente precisa que resultarán de haber estudiado y filtrado un número mayor de alternativas desarrolladas sólo esquemáticamente. El plantearse como objetivo la obtención de más de una solución es una forma de forzar la creatividad. Esta es una cualidad de los individuos pero, como todas ellas se pueden desarrollar con método y experiencia, la falta de creatividad puede ser especialmente negativa cuando se trata de una reforma, porque entonces tiende a imponerse la tendencia a aceptar la distribución existente como punto de partida y a limitarse a modificaciones que no alteran el esquema básico

Krick ha recopilado una lista de preceptos o consejos para estimular la creatividad:

1. **Ejercer el esfuerzo necesario.** Fijarse un tiempo y dedicarlo íntegramente al problema, aunque antes parezca que se ha obtenido una solución satisfactoria.
2. **No entrar en detalles demasiado pronto.**
3. **Adoptar sistemáticamente una actitud interrogativa.** Las típicas preguntas *qué, quién, cuándo, dónde, cómo y por qué* deben formularse para cada aspecto del problema.
4. **Establecer como objetivo un número fijo de alternativas.**
5. **Evitar la actitud conservadora de ceñirse a lo ya existente.**
6. **Evitar el rechazo prematuro.** Una evaluación somera y equivocada en una fase temprana del diseño puede descartar ideas excelentes.





7. **Evitar la satisfacción prematura.** Es decir, no dejar de buscar soluciones aunque se haya obtenido una que parezca insuperable.
8. **Buscar ideas en las soluciones a problemas análogos.** A través de publicaciones, proyectos ya realizados, etc.
9. **Consultar a otras personas.** Técnicos en la materia y usuarios.
10. **Alejar el pensamiento de la solución existente.**
11. **Trabajar en equipo para generar ideas (Brainstorming).**
12. **Ser consciente de las limitaciones de la mente en el proceso de generación de ideas.** Para prevenirse de tendencias negativas, tales como la de imponer restricciones ficticias, aceptar o rechazar prematuramente, etc.

La lista anterior es una versión algo resumida, pero no modificada, de la de Krick. Evidentemente, contiene algunas redundancias y se puede pensar que algunos de los consejos son irrelevantes o que son expresión únicamente de buenos deseos. Pero no es trivial, y su aplicación rigurosa puede ayudar a la obtención de buenos resultados.

El punto 10 que corresponde a evaluación y selección, que aconseja alejar el pensamiento de la solución existente, merece no obstante, alguna matización. En general como es práctica habitual en los estudios de mejora de métodos, cuando se trata de mejorar un sistema organizativo o un aspecto del mismo que existe y funciona, se considera como punto de partida para el planteamiento de la nueva solución la descripción y crítica de la que existe. La propuesta puede y muchas veces debe ser muy distinta de la antigua, pero no se ha de perder de vista que ésta ha sido resultado de un estudio más o menos formal y más o menos bien realizado pero que en todo caso de alguna forma expresa los objetivos y las restricciones que había en el momento en que se planteó o puso en marcha y, en parte al menos, su evolución posterior; de hecho, aunque no siempre se haga esto explícito, éste es un motivo de fondo para el estudio de la solución antigua, que se ha de llevar a cabo no tanto con la preocupación de justificar la superioridad de la nueva solución como con la de descubrir necesidades y motivos, que muchas veces sólo se pueden detectar a través de su reflejo en el sistema productivo.

Una vez desarrolladas las soluciones, hay que proceder a seleccionar una de ellas. Normalmente, en esta decisión intervendrán personas que no han participado en todas las etapas del diseño y que, por consiguiente, no conocen las soluciones propuestas o al menos no las conocen en detalle, por ello es muy importante una buena presentación, que permita una comprensión cabal de lo que se propone.

3.3.3 Aproximación del problema de asignación cuadrática





La aproximación del Problema de Asignación Cuadrática (QAP: *Quadratic Assignment Problem*), es la segunda de las aproximaciones de las cuales se derivan gran parte de las investigaciones realizadas en el campo del problema de distribución. Los problemas de optimización se representan como una maximización o minimización de una función sujeta a un grupo de restricciones. Si se minimiza, usualmente se conoce el problema como “minimización de costos”, aunque la entidad a minimizar no sea medida en unidades de dinero, en general, los problemas de optimización cuadráticos son problemas de optimización no lineal en los cuales una función cuadrática debe minimizarse o maximizarse, sujeta a restricciones lineales y usualmente a restricciones no negativas en las variables de diseño (Cichocki y Unbehauen, 1993). El problema de optimización cuadrática puede formularse de la siguiente manera:

$$\text{Minimizar } f(x) = \mathbf{c}^T \mathbf{x} + \frac{1}{2} \mathbf{x}^T \mathbf{G} \mathbf{x}$$

Sujeto a las restricciones:

$$\mathbf{A} \mathbf{x} \geq \mathbf{b}, \quad \mathbf{x} \geq 0$$

Donde \mathbf{G} es una matriz $m \times n$ simétrica definida positiva, $\mathbf{b} \in \mathcal{R}^m$, $\mathbf{c} \in \mathcal{R}^n$, y \mathbf{A} es una matriz $m \times n$ de rango m .

Una extensión del problema cuadrático estándar es el que incluye restricciones de igualdad sujeta a las restricciones

$$\text{Minimizar } f(x) = \mathbf{c}^T \mathbf{x} + \frac{1}{2} \mathbf{x}^T \mathbf{G} \mathbf{x}$$

$$\mathbf{a}_i^T \mathbf{x} = \mathbf{b}_i, \quad (i = 1, 2, \dots, p),$$

$$\mathbf{a}_i^T \mathbf{x} \geq \mathbf{b}_i, \quad (i = p+1, \dots, m),$$

$$\mathbf{x} \geq 0$$

$$\text{Donde } \mathbf{a}_i = [a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in}]^T$$

Este problema puede expresarse en forma equivalente como:

$$\text{Minimizar } f(\mathbf{x}) = \sum_{j=1}^n c_j x_j + (1/2) \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n g_{ij} x_i x_j$$

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = b_i \quad (i = 1, 2, \dots, p),$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \geq b_i \quad (i = p+1, \dots, m),$$

$$x_j \geq b_i \quad (i = 1, 2, \dots, n),$$





Por lo tanto, un problema cuadrático es un problema de minimización restringido en el cual las restricciones de igualdad y desigualdad son permitidas. No obstante, las restricciones de desigualdad pueden reemplazarse introduciendo variables de holgura x_{n+1} , tal que $x_{n+1} \geq 0$ y

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j - x_{n+1} = b_i \quad (i = 1, 2, \dots, p),$$

Por lo tanto, puede tomar la forma siguiente:

$$\text{Minimizar } f(\mathbf{x}) = \mathbf{c}^T \mathbf{x} + \frac{1}{2} \mathbf{x}^T \mathbf{G} \mathbf{x}$$

sujeto a:

$$\mathbf{A} \mathbf{x} = \mathbf{b}, \quad \mathbf{x} \geq 0$$

En el caso especial cuando $\mathbf{G} = 0$ el problema anterior se simplifica a un problema de programación lineal (Cichocki y Unbehauen, 1993). Respecto al *problema de asignación cuadrática*, Koopman y Beckmann fueron los primeros que modelaron este problema tal como ahora se conoce como el *Problema de Asignación Cuadrática*. Éste es una de las alternativas utilizadas para resolver el problema de distribución de planta, planteado como un problema de optimización matemática.

Este tipo de problemas combinatorios pertenecen a la programación entera y en este caso en particular, son los más difíciles de resolver, según el tiempo de cálculo que requieren; su complejidad es NP completa (Nondeterministic Polynomial Time), es decir, es un problema de decisión que tiene un algoritmo de solución no-determinístico en tiempo polinomial, sus posibles soluciones se encuentran en el orden de $n!$. Por esta razón, se hace necesaria la utilización de alternativas que permitan encontrar una solución satisfactoria (aunque no sea la óptima) en un tiempo aceptable. Por lo general, debido a la cantidad de posibilidades de combinaciones existentes, no se recomienda resolver este tipo de problemas manualmente. No resulta una tarea sencilla, ya que al incrementar, en el caso del QAP, un solo departamento, el número de posibilidades aumenta considerablemente.

La complejidad del QAP puede vislumbrarse si se compara con el total de cálculos computacionales necesarios para resolverlo. La resolución del QAP es considerada como uno de los mayores retos en optimización combinatoria, incluso con un pequeño número de departamentos ($n=25$). Muchos problemas como distribuciones de hospitales, diseño de redes de acceso local, programación de operaciones, alambrado de tableros, diseño de teclados de escritura, partición equitativa, diseño de circuitos VLSI y enrutamiento, entre otros, pueden representarse como problemas de asignación cuadráticos.





En el problema de asignación cuadrático en particular, existen n departamentos que serán ubicados o distribuidos en n sitios, es decir, el espacio a distribuir se divide en n áreas o *sitios* exactamente iguales por restricción.

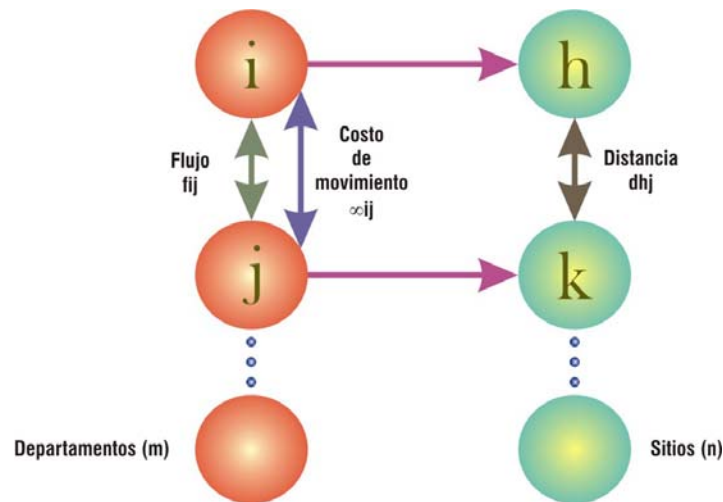


Figura 3.19.- Representación del problema de asignación cuadrática
Fuente: Martínez González, C. L. (2002)

Existe un flujo de materiales, información y/o personas entre los pares de departamentos. Entre los sitios hay una *distancia* determinada (ver figura 3.19), en el problema de distribución óptima de planta, usualmente se utiliza la distancia *rectilínea* entre los centroides de los departamentos (figura 3.20).

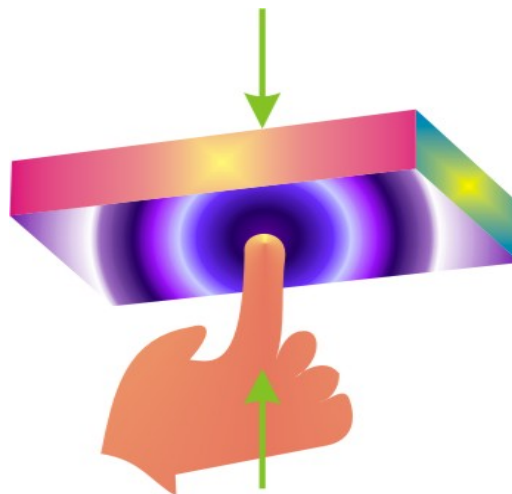


Figura 3.20.- El centroide equivalente al centro de gravedad
Fuente: <http://www.ing.ula.ve/~rubio/centroide01.htm>

Existe un costo de movimiento, para cada elemento que se requiera mover entre los departamentos (material, maquinaria o personal). El objetivo del problema es minimizar el costo total de la distribución, dicho costo puede calcularse de la siguiente manera, para cada distribución posible se multiplica el costo de movimiento entre el par de departamentos, por el flujo entre ellos, por la distancia entre los sitios asignados, y se suma cada uno de estos costos.





El modelo matemático para este problema de optimización es el siguiente.

$$\text{Minimizar } Z = (1/2) \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{h=1}^N \sum_{k=1}^N C_{ihjk} X_{ih} X_{jk}$$

$$j \neq i \quad k \neq h$$

Sujeto a:

$$\sum_{i=1}^N X_{ih} = 1 \quad \text{para toda } h$$

$$\sum_{h=1}^N X_{ih} = 1 \quad \text{para toda } i$$

$$X_{ih} \in \{ 0, 1 \}$$

Donde:

$C_{ihjk} = \alpha_{ij} f_{ij} d_{hk}$ = Costo de asignar los departamentos i y j a los sitios h y k respectivamente.

f_{ij} = Flujo de material entre los departamentos i y j .

d_{hk} = Distancia entre los sitios h, k .

α_{ij} = Costo de mover una unidad de material, una unidad de distancia entre los departamentos i y j .

$X_{ik} = 1$ Si el departamento i es asignado al sitio k .

$X_{ik} = 0$ De otra manera

Es importante aclarar que existen otros modelos matemáticos para este mismo problema, sin embargo, el que se plantea aquí es representativo. El problema de asignación cuadrático es un problema complejo de resolver, y esta complejidad aumenta en relación al número de departamentos, lo que ha originado la búsqueda de técnicas alternas que, aplicando la heurística, pretendan encontrar una solución aceptable a este problema.

3.3.3.1 Alternativas de solución del problema de asignación cuadrática

Las alternativas de solución usual para los problemas de optimización lineales, son algoritmos como el método simplex. Sin embargo, existen problemas que resultan demasiado complicados de solucionar por este tipo de métodos, estos son los que pertenecen a la programación no lineal. El QAP se ha resuelto generalmente por métodos heurísticos, con herramientas muy variadas, existen reuniones en los que se han presentado los últimos avances en la investigación en el tema, uno de ellos es el *Taller Internacional sobre el Problema de Asignación Cuadrática y su extensión*, realizado en Bangkok, Tailandia en el 2000.





Existen también grupos dedicados a la difusión de estos avances, por ejemplo, la biblioteca virtual *qaplib*, que tiene a disposición en internet un compendio de los problemas ya resueltos óptimamente, con sus respectivos autores y resultados, presenta también diferentes artículos con recientes investigaciones en este problema y sus variaciones, una lista de personas dedicadas a estudiarlo y software que resuelve algunas variaciones del QAP, aunque no todos resuelven el problema óptimamente. Algunos de los programas disponibles son:

- **Qapbbb.f.** Realizado en FORTRAN, utiliza el método de *bifurcación y acotamiento*, y resuelve óptimamente el problema hasta $n=15$. Ejecutarlo para $n>15$, puede resultar en tiempos de cómputo impredecibles.
- **Qapsim.f.** Realizado en FORTRAN, utiliza el *temple simulado* y produce soluciones heurísticas para el problema con dimensión $n.256$.
- **Ro.Ts.** Realizado en Pascal, utiliza la *búsqueda Tabú* y produce soluciones heurísticas para el problema con dimensión $n.256$.

3.3.3.2 Algunos resultados obtenidos para el problema de asignación cuadrática

En 1968, Nugent, Vollman y Ruml propusieron un grupo de instancias del problema de asignación cuadrático, de tamaño 5, 6, 7, 8, 12, 15, 20 y 30, llamados *nug5*, *nug6*, *nug7*, *nug8*, *nug12*, *nug15*, *nug20* y *nug30*. Su planteamiento apareció en el artículo llamado “An experimental comparison of techniques for the assignment of facilities to locations”, en la revista *Operations Research*.

Actualmente ya se ha encontrado una solución óptima para el *nug30*, pero se considera aún la instancia más compleja para este problema, hay que considerar que si se debieran evaluar todas las posibilidades de solución para encontrar la óptima, una por segundo, tardaría alrededor de 140 veces la edad del universo. Para resolver este problema, un grupo de investigadores trabajó conjuntamente con computación distribuida masiva y utilizaron la técnica de árbol de búsqueda de *bifurcación y acotamiento*, se utilizó un grupo de 2510 procesadores ubicados en distintos lugares (Winsconsin, Georgia, Nuevo México, Italia, entre otros) y de 28 arquitectura y sistema operativo variados (Intel, Sun, Linux, Solaris, entre otros). El promedio de personas involucradas en su realización fue 652.7, alcanzando un máximo de 1009 trabajadores simultáneos, el total de tiempo de ejecución fue de 597,872 segundos y el total de tiempo de cpu fue de 346,640,860 segundos, equivalente a 218,823,577 segundos en una workstation HP-C3000.

Algunas otras propuestas y alcances conseguidos por investigadores en el área son los siguientes:

- **Elshafei** (1977), resolvió el QAP para $n=19$, para la distribución de un hospital, utilizando la distancia entre departamentos y flujo de pacientes entre ellos.





- **Krarup y Pruzan** (1978), utilizaron datos reales para la planeación del Klinikum Regensburg, en Alemania, con $n=30$. El nug27 y el nug28 fueron resueltos por Anstreicher y Brixius. El nug27 fue resuelto en aproximadamente 24 horas en un sistema de procesamiento distribuido en el Laboratorio Nacional de Argonne, con un promedio de 136 máquinas. El nug28 fue resuelto en 4 días, 8 horas, con un promedio de 200 máquinas. El tiempo de ejecución equivalente en una workstation HP-C3000 es de 435 días.
- **Percy y Yip** (1994), presentaron una técnica para resolver el QAP llamada *GESA: Guided Evolutionary Simulated Annealing* o *Temple o Recocido Simulado Guiado Evolutivo*. Dicha técnica utiliza un algoritmo paralelo, donde se combinan la evolución simulada y el *temple simulado*.
- **Nissen** (1994), desarrolló un método basado en una clase de algoritmos de búsqueda y optimización, conocidos como *estrategias de evolución (evolution strategies ES)*. Dichas estrategias están inspiradas en los mecanismos de la evolución biológica, por lo que imitan la selección natural.

3.3.4 Método de distribución en la programación lineal

El método de distribución es más versátil que la rutina gráfica y conserva la concisión que la convierte en un buen instrumento para los cálculos manuales. Se usa para determinar las mejores rutas para el transporte de suministros desde varios puntos de origen hasta destinos diferentes. Aunque la palabra *distribución* tiende a sugerir imágenes de almacenes que surten de productos a los establecimientos de menudeo, el método se puede usar también para identificar el patrón de costo más bajo o de distribución más rentable de cualquier recurso.

El formato para la solución es una matriz que define:

1. La cantidad y la ubicación tanto de la oferta como de la demanda.
2. El costo o el beneficio creado al proporcionar una unidad desde cada punto de origen hasta cada destino.

No hay límite para el número de orígenes y destinos que se puede incluir en la matriz, se obtiene una distribución óptima determinando primero una solución inicial y luego probando y revisando sucesivamente soluciones mejoradas hasta que no sea posible mejorar más, puede haber varios patrones iguales de costo de distribución. Esas rutas alternativas se identifican por los procedimientos de solución.





Los detalles de esos procedimientos se ejemplificarán mediante una aplicación de muestra. Supongamos como ejemplo para una mejor comprensión, una cadena de panaderías que produce una línea completa de pasteles, galletas, tartas y otros postres empacados tienen la intención de construir una nueva planta de elaboración y distribución.

La empresa tiene dos panaderías en centros metropolitanos, las cuales proporcionan los productos a las comunidades adyacentes más pequeñas, esas plantas funcionan a toda capacidad, pero no pueden satisfacer la demanda actual, a menos que surja la competencia esperada, el potencial de mercado seguirá creciendo. Para hacer frente a la demanda prevista se construirá una nueva panadería en una de dos localidades, la capacidad adicional atenderá las ventas locales de la ciudad en la cual esté ubicada la panadería, así como la demanda de las poblaciones cercanas, el problema consiste en decidir qué ubicación minimizará el costo de distribución de los productos.

En la figura 3.21 se da una idea de la disposición geográfica y del patrón de distribución, los rectángulos representan centros de distribución de la panificadora y los círculos representan las ciudades aledañas donde se venden los productos, el tamaño de los símbolos indica de manera burda la capacidad, los arcos indican posibles patrones de distribución, las líneas sólidas en arcos y rectángulos indican rutas así como patrones existentes; las líneas de trazos representan las ubicaciones alternativas de la nueva planta y los patrones de distribución correspondientes. Sólo se va a elegir una posibilidad, por lo tanto, si $B4$ es la ubicación elegida, el mercado local $M4$ será abastecido lógicamente por $B4$. Si se eligió a $B3$ en lugar de a $B4$, $M3$ será el mercado local.

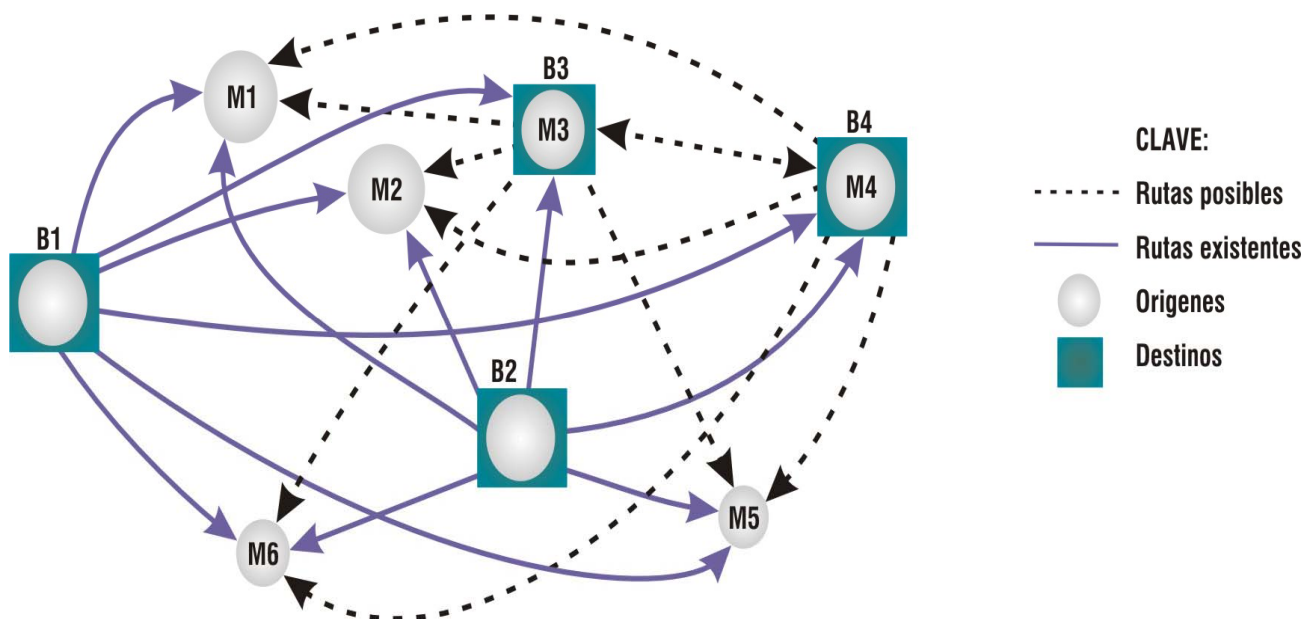


Figura 3.21.- Idea de la disposición geográfica y del patrón de distribución
Fuente: Organización Internacional del Trabajo, OIT. (2000)





3.5 DISEÑO COMPUTARIZADO DE INSTALACIONES

En años recientes, el adelanto más importante en la planeación de la distribución fue el análisis computarizado⁷, según H. Lee Hales, en 1984 se habían publicado ya más de cincuenta algoritmos con este fin, todos los cuales daban como resultado una representación gráfica a escala de la distribución en planta. Los más conocidos se refieren a edificios de una sola planta, pero hay también algoritmos para el tratamiento de distribuciones multiplanta, algunos de estos últimos llegan a obtener una distribución esquemática para cada planta; otros se reducen a asignar los centros de actividad a los pisos. En cuanto a los algoritmos para la distribución en planta se mencionan los siguientes:

➤ **CRAFT:** El primero cronológicamente de los algoritmos para el diseño de distribuciones en planta y prototipos denominados de mejora es el denominado CRAFT, desarrollado por Buffa y sus colaboradores. CRAFT (Computerized Relative Allocation Facilities). La técnica computarizada de asignación relativa de instalaciones, CRAFT aplica el flujo de materiales como criterio único, los datos de entrada incluyen el flujo de materiales por unidad de tiempo, el costo por unidad y por distancia recorrida y las necesidades de espacio en forma de una distribución inicial.

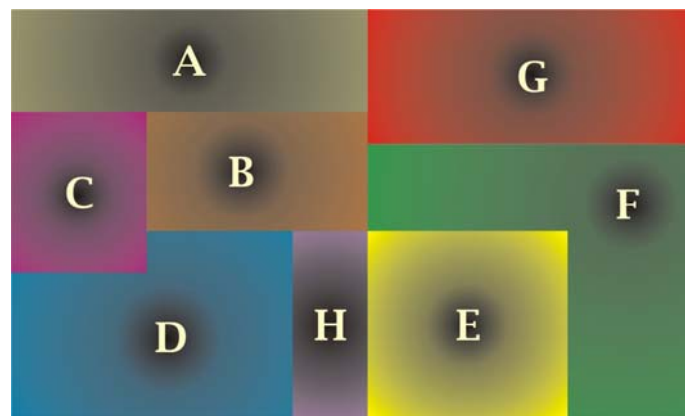


Figura 3.22.- Distribución obtenida con CRAFT
Fuente: Thopkins, A., White, A., Bozer, A., & Tanchoco, A. (2003)

La CRAFT considera repetidamente los intercambios entre ubicaciones hasta que ya no se pueden encontrar más reducciones importantes del costo. El resultado del programa es una distribución impresa de las instalaciones en una forma rectangular básica que se aproxima a la distribución de costo más bajo, sin garantía de que lo sea, a las primeras versiones de la CRAFT (ver figura 3.22), se les han hecho varios agregados con el fin de aumentar el realismo y para que

⁷ Las disposiciones auxiliadas por computadora son efectivas principalmente en las plantas de proceso. Las disposiciones manuales normalmente dan mejores resultados en menos tiempo cuando se diseña una planta con una distribución por producto o lineal.





sea aplicable a una mayor variedad de situaciones, es un programa ampliamente utilizado capaz de manejar 40 centros de actividad calculando la matriz de distancias como las separaciones rectangulares desde los centroides de departamento. El mayor inconveniente del CRAFT, es que proporciona soluciones poco realistas, con líneas de separación poco regulares que dan lugar a formas difíciles de llevar a la práctica. Normalmente es obligado por tanto a proceder a ajustes manuales, pero puede resultar a veces excesivamente complicado, por lo que se completan posteriormente con diversas mejoras.

- **CORELAP:** La planeación computarizada de relaciones de distribución, CORELAP, utiliza las puntuaciones de proximidad *A-E-I-O-U*, las necesidades de espacio y una relación máxima de longitud-anchura del edificio para formular una distribución. Los requerimientos de entrada para el CORELAP son el número de departamentos, las áreas departamentales, las relaciones entre departamentos y ponderaciones para estas relaciones. El CORELAP elabora luego disposiciones localizando departamentos, mediante áreas rectangulares (ver figura 3.23). El objetivo es proporcionar una distribución con los departamentos de "alta categoría" cercanos entre sí, las respuestas se obtienen considerando cada departamento por turno para ver qué tan bien satisface las relaciones "A" luego las "E", en seguida las "I" y así sucesivamente. La impresión producida por la CORELAP es una disposición irregular que a menudo tiene que ser ajustada manualmente para obtener una distribución factible.

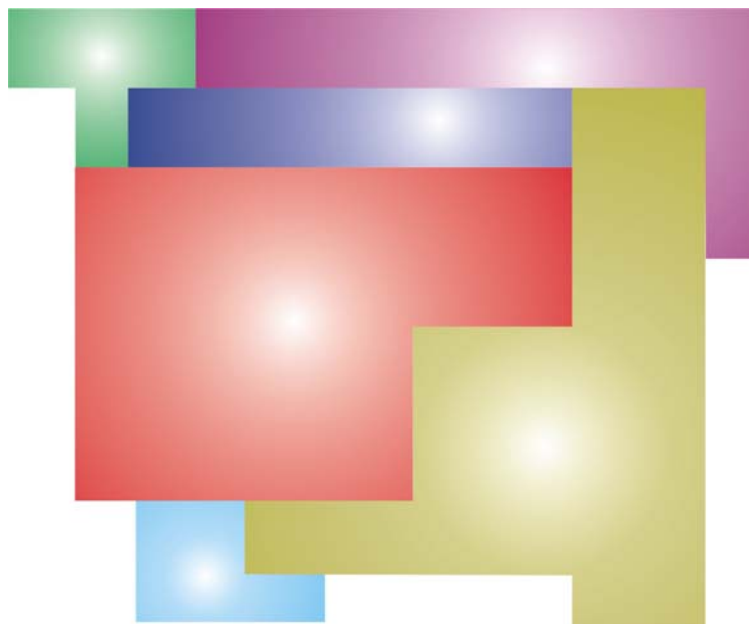


Figura 3.23.- Una primera solución obtenida según el algoritmo CORELAP
Fuente: Coromías, A. (1991)





- **ALDEP:** El programa de presentación automatizada de diseños ALDEP, requiere como datos, las especificaciones del edificio y una matriz de preferencia de las relaciones de ubicación. El programa da comienzo seleccionando y ubicando un departamento al azar, luego se examinan las relaciones para encontrar un departamento muy relacionado con el que se acaba de ubicar. Cuando ya no se pueden encontrar otras preferencias, se elige al azar otro departamento y el procedimiento se repite hasta que todos los departamentos hayan sido procesados. El ALDEP puede proporcionar distribuciones múltiples hasta para tres niveles; pero las impresiones requieren ajustes manuales. Las distribuciones terminadas se califican por la manera en que satisfacen las relaciones deseadas (ver figura 3.24).

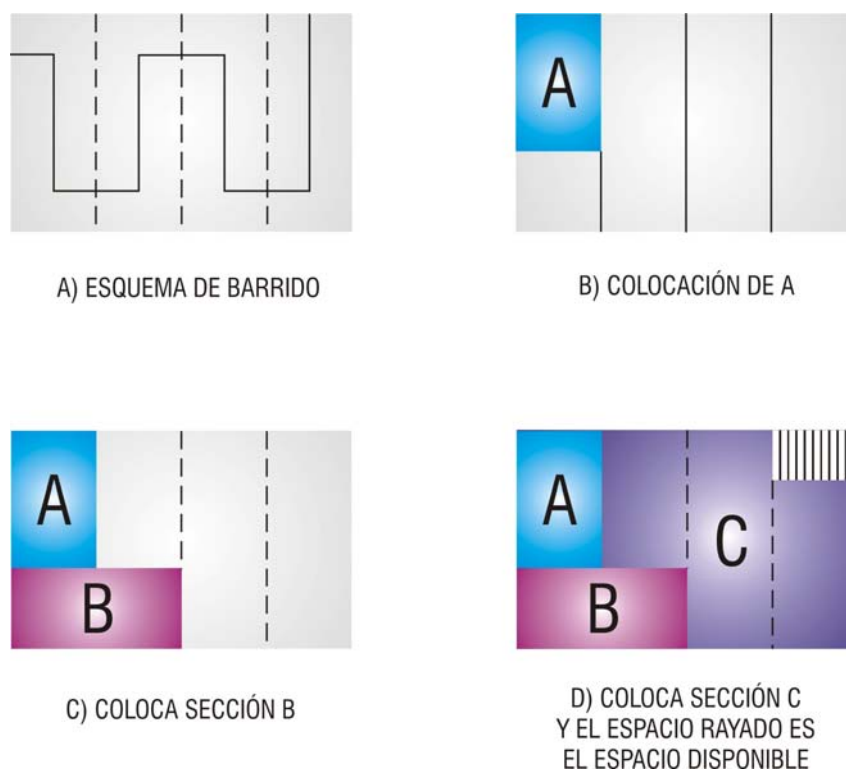


Figura 3.24.- Esquema de barrido en que se basa el programa ALDEP
Fuente: Coromias, A. (1991)

- **PLANET,** es un programa accesible que utiliza los criterios de relación del ALDEP o las consideraciones de carga y ruta de CRAFT para desarrollar distribuciones que son evaluadas de acuerdo con la ubicación de los departamentos y con el costo del flujo entre departamentos.
- **EI PREP,** paquete de redistribución y evaluación de la planta, evalúa hasta 99 departamentos a la vez, analiza estructuras de niveles múltiples y está basado en las distancias reales recorridas por el equipo de manejo de materiales más que en las distancias directas entre los centros de las áreas departamentales.





- **Los COFAD II, F Y III**, son versiones del paquete de diseño computarizado de instalaciones, que incluyen restricciones de seguridad en las distribuciones (II), el impacto de la relación estocástica volumen-combinación de los productos en el diseño de las instalaciones (F) y los acomodos para el equipo de ruta programable como trenes de tractores, carretillas robot y cintas transportadoras que funcionan a lo largo de una ruta fija en circuitos que conectan a los departamentos servidos por el sistema.
- **MATCH**, desarrollado por Mointreuil, Ratliff y Goetschalckx (1987), pretende encontrar concordancias que maximicen el total de puntos de adyacencia, satisfaciendo los límites del número de concordancias con cada departamento, y el número total de veces que un departamento debe concordar con los demás. Los departamentos generados son de forma rectangular y la aproximación es iterativa, basándose en las entradas que son proporcionadas por el usuario.
- **SPIRAL**, creado por Goetschalckx (1992), desarrolla una gráfica de adyacencias y después una distribución de bloque basada en esta gráfica. Utiliza el concepto de tuplas de relación para construir una gráfica de adyacencias, donde las tuplas cuantifican la relación entre un departamento y los otros. La gráfica permanece plana debido a su estructura hexagonal y se usa para construir un diagrama de localización relativa aproximada colocando los departamentos de diferente área en la estructura de columnas y renglones.
- **SHAPE**, desarrollado por Hassan, Hogg y Smith (1986), es un algoritmo que utiliza una representación discreta y tiene un objetivo basado en distancias rectilíneas entre los centroides de los departamentos. La secuencia de selección de departamentos depende del ranking, el cual está basado en el flujo de cada departamento y en un valor de flujo crítico definido por el usuario, la colocación de los departamentos inicia en el centro de la distribución, la siguiente colocación se basa en el valor de la función objetivo con el departamento colocado en cada uno de los cuatro lados de la distribución.
- **FLEX-BAY**, (Flexible Bay Structure). es un algoritmo basado en una representación continua, desarrollado por Tate y Smith (1995). Se utiliza una función de castigo para evaluar el problema de distribución de planta de área desigual y restringido en la forma de los departamentos. Una distribución se representa por un número flexible de *bahías* verticales de ancho variable, cada una dividida en uno o más departamentos rectangulares. FLEX-BAY utiliza un algoritmo genético para buscar el espacio de solución variando las asignaciones de departamento-bahía o adicionando o removiendo un punto de quiebre en una bahía.





3.6 SIMULACIÓN

Simular en un sentido general, significa fingir o suponer la apariencia de algo sin que sea la cosa real. En un sentido administrativo, recurrimos a la simulación para fingir un sistema real con objeto de observar la réplica y aprender de su comportamiento, esta desviación de la realidad tiene varias ventajas sobre la observación del sistema real, normalmente es más fácil y menos costoso y puede resultar más instructivo porque la atención se concentra en las características de interés particular. El empleo de las técnicas de simulación va en aumento debido principalmente a la disponibilidad generalizada de las computadoras, así como al perfeccionamiento de los administradores y los analistas de sistemas de nuestro tiempo, la simulación por computadora⁸ es una manera eficaz de abordar relaciones complejas sin sufrir las consecuencias de los experimentos a base de prueba y error, es una de las áreas que crece con mayor rapidez en el mundo sobre las decisiones apoyadas por computadora.

Ha habido tres aspectos principales que han contribuido en este crecimiento explosivo durante la última década.

1. El **primero** de ellos fue la adición de las salidas gráficas y de la animación, este desarrollo tecnológico ha sacado a la simulación del cuarto oculto de la computación y lo ha llevado a la sala de sesiones, en lugar de presentarlos como montones de papel escritos en la computadora, incluyendo algunos diagramas y gráficos en el reporte para comunicar los resultados, éstos se presentan por medio de instrumentos de animación, en forma natural, en la pantalla de la computadora se presenta una cantidad muy significativa de información. La audiencia puede absorber esta información mucho más rápidamente, ya que la representación del problema sobre el cual se está investigando es más familiar.
2. El **segundo** factor importante ha sido el incremento en la velocidad de la computadora y la reducción de los costos en los sistemas de hardware. Las mainframes⁹ incorporadas se usan todavía hoy para ejecutar los modelos de simulación, pero sólo para los modelos más grandes, la tendencia creciente se acerca a la computadora personal y a las estaciones de trabajo de ingeniería, que son los grandes planes de hardware que se pueden seleccionar. Las herramientas de simulación más transferibles y poderosas contienen software que ofrecen esa extensión continua del hardware, desde una computadora personal hasta una mainframe, hay también muchas herramientas de simulación que se han desarrollado solamente para la computadora personal.

⁸ Nota: La simulación se puede hacer manualmente pero el trabajo de escritorio pronto se vuelve agotador.

⁹ Mainframe, una computadora de gran capacidad, diseñado para realizar tareas computacionales muy intensas, las computadoras de tipo mainframe proporcionan acceso a una gran cantidad de usuarios simultáneamente.





3. El **tercero** de los aspecto importante es el desarrollo de herramientas de simulación fáciles de usar, muchas de las cuales presentan hoy en día características tales como módulos hechos a la medida para dirigir los requerimientos del manejo de materiales, para obtener menús que ofrezcan mejores interfaces a los usuarios y para proporcionar resultados estadísticos estándar muy completos.

Mientras la simulación continúe creciendo conforme nos acercamos al siglo XXI, las herramientas aumentarán mucho más, continuarán mejorando los sistemas de interfaces para el diseño asistido por computadora (CAD), las capacidades de la programación, el desarrollo de los procesos lógicos de control, los enlaces por computadora para los sistemas de mantenimiento, así como otros resultados de la interfase a lo largo del ciclo de vida de un proyecto (ver figura 3.25). El enfoque de este crecimiento y mejoramiento, es disminuir el tiempo de desarrollo total necesario para obtener los productos que se van a comercializar, así como bajar la magnitud del esfuerzo humano necesario para realizar los análisis y mejorar la calidad y exactitud de la información que es la base para el proceso de la toma de decisiones.

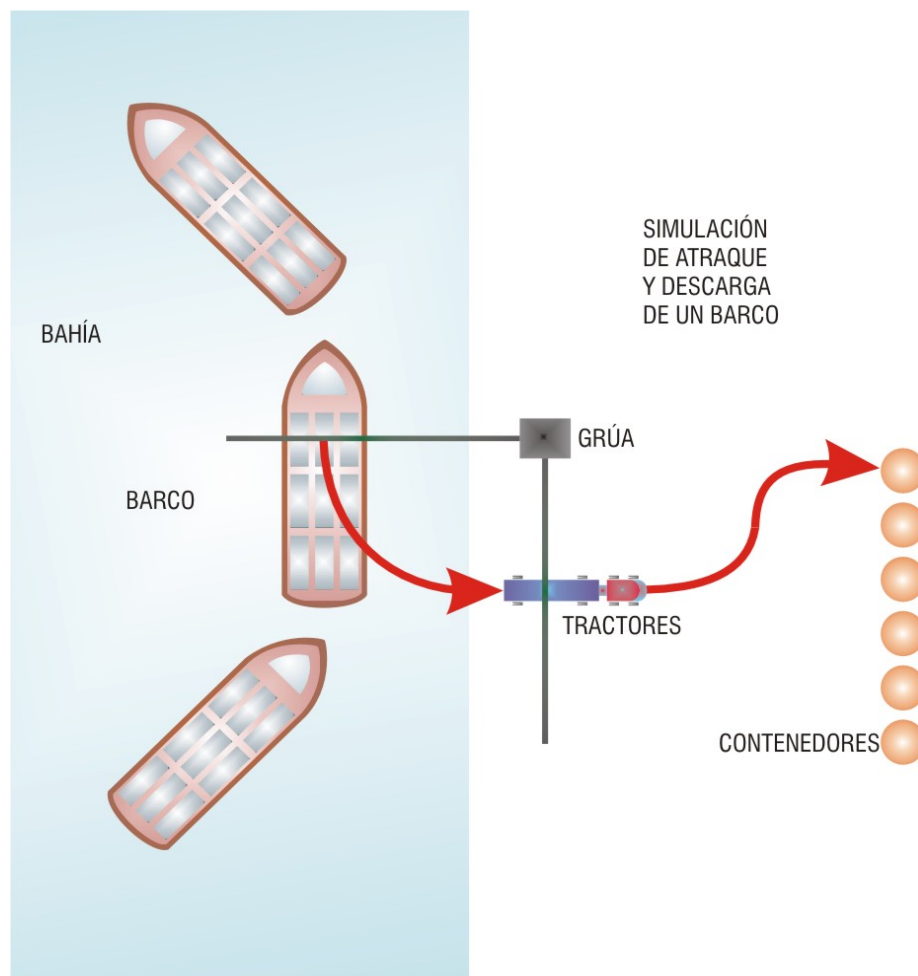


Figura 3.25.- Simulación de barco de contenedores descargando en un muelle
Fuente: Philip, E. H. (2002)





3.6.1 Modelos de simulación

Las simulaciones¹⁰, tanto para aprender como para resolver problemas, dependen de un modelo, es decir un programa que dirige las respuestas del sistema simulado, cuando los analistas de sistemas hablan de simulación, se refieren por lo general a la experimentación con un modelo de simulación efectuada con una computadora digital, un problema de la vida real se resume en forma que pueda ser asimilado por las computadoras, el problema puede ser demasiado grande y complejo para abordarlo con las técnicas estándar de optimización, o puede ser un intento de evaluar los mecanismos internos y las respuestas ambientales de un nuevo diseño antes de implantarlo físicamente.

La metodología de la simulación se presenta en la figura 3.26, un problema se define identificando las variables y los parámetros que se van a incluir en el modelo. Por lo general se hallan presentes dos clases de variables:

1. Las que pueden ser controladas por quien toma la decisión, por ejemplo, ¿Qué cliente será atendido en seguida?
2. Las no controlables asociadas con el medio, por ejemplo, ¿Cuántos clientes llegarán? Los parámetros son propiedades del sistema que se estudia, que permanecen constantes durante el período de estudio, por ejemplo, la distribución de la población de clientes.

Un modelo de simulación se construye estableciendo las condiciones iniciales del estudio, especificando los incrementos de tiempo fijo o variable en que será observado el sistema, determinando las reglas de decisión que afectan al comportamiento del sistema y especificando la distribución de probabilidades de las variables.

Como ejemplo sencillo diseño de un modelo, consideremos el problema de dónde y cuándo explotar un puesto de limonadas, las condiciones iniciales son una vasija llena de limonada y el puesto situado en una determinada intersección, las condiciones en el puesto serán observadas cada cinco minutos y las reglas de operación serán que la limonada se venderá a cualquiera que pague diez pesos y que el puesto estará abierto desde medio día hasta la hora de la cena o hasta que la vasija se encuentre vacía. Las distribuciones de interés son el número de personas que pasarán frente al puesto en una determinada ubicación y la probabilidad de que compren al pasar.

Se elabora un programa de computadora representando el problema en un *flujograma* para indicar cómo responde dinámicamente el sistema a las condiciones de interés, traduciendo el flujograma a lenguaje de computadora y obteniendo un generador de números aleatorios.

¹⁰ La simulación se convierte a veces en el método de análisis que se puede aplicar cuando todo lo demás ha fallado.



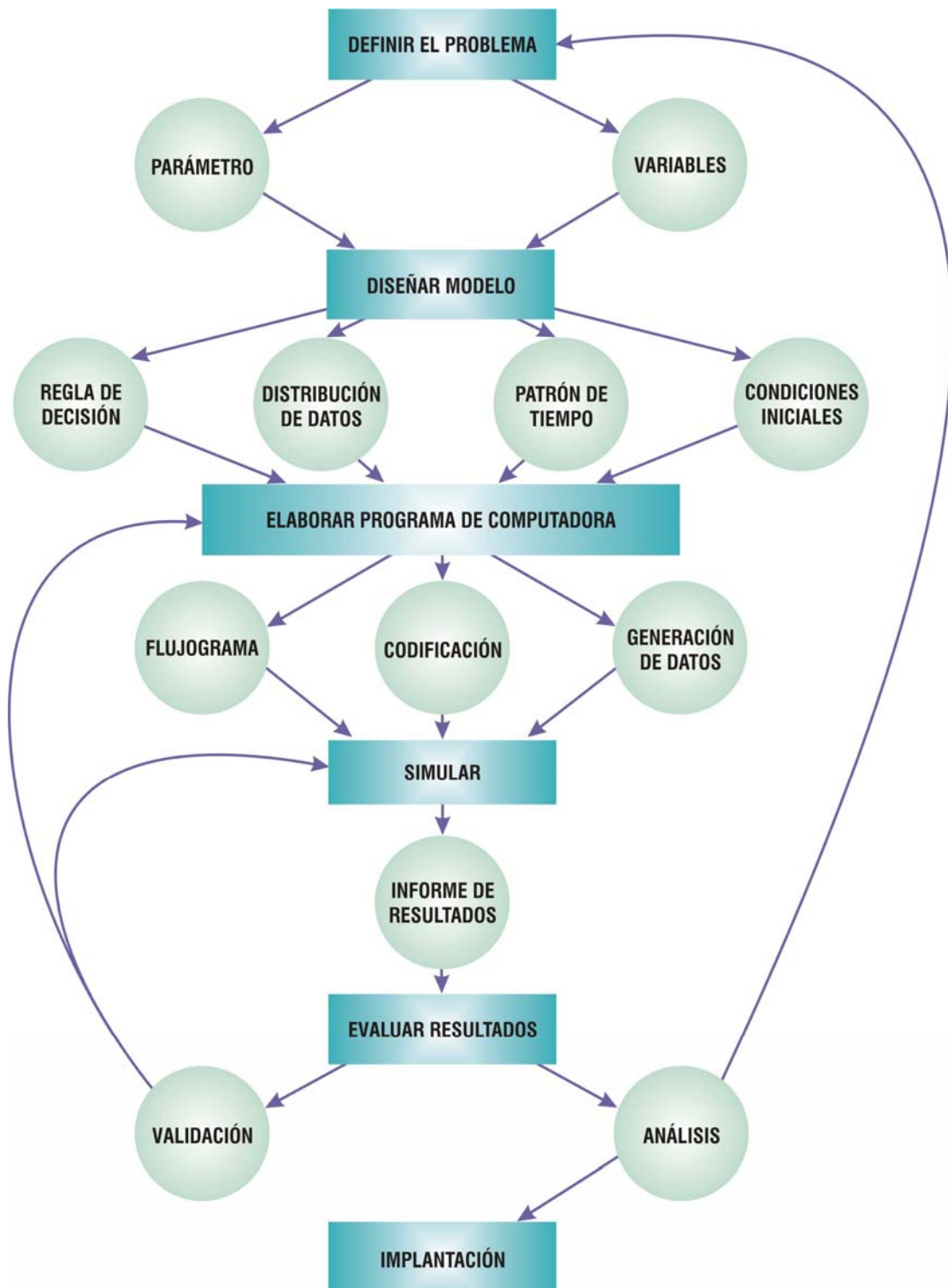


Figura 3.26.- Red descriptiva de la metodología de la simulación por computadora
Fuente: Organización Internacional del Trabajo, OIT. (2000)





El resultado¹¹ del ejercicio de simulación dependerá, por supuesto, del programa que gobierna la corrida, ese resultado debe ser verificado para determinar si representa adecuadamente las condiciones reales. Se producen errores debido a las equivocaciones en la lógica y codificación del flujograma, también los datos básicos y los supuestos pueden estar equivocados, los cálculos del programa se pueden comprobar en forma independiente para verificar la exactitud y las condiciones del sistema modelado se pueden comparar con un sistema existente para validar su autenticidad. Sin embargo, la verdadera validación depende del grado en que las condiciones simuladas se parezcan al comportamiento real una vez que se implanta el sistema modelado, luego, el analista podrá regocijarse de que el consejo fue atinado o recordará los peligros de la toma de decisiones en condiciones de riesgo.

3.7 ALGORITMOS GENÉTICOS

Los algoritmos genéticos (abreviadamente GAs) suponen una nueva vía para la resolución de problemas complejos de búsqueda de soluciones. En especial en estos últimos años, debido al gran incremento de potencia del que han sido dotados los equipos informáticos, la utilización de los GAs se ha extendido considerablemente, ya que resulta pequeño el problema del costo computacional que podría presentarse al utilizar este tipo de algoritmos. Los GAs surgieron a finales de los años 60, de la mano de Holland.

El objetivo perseguido por estos algoritmos es dar una solución a los numerosos problemas planteados en muchos sectores industriales o de servicios, y que resultaban de muy difícil resolución por los métodos conocidos hasta entonces. La principal aportación de los GAs es la resolución de problemas de optimización y búsqueda, para los cuales logran alcanzar una solución, que no siendo el óptimo del problema, sí resulta ser una buena aproximación.

El funcionamiento de los GAs, se explica a continuación: se parte de una población inicial (normalmente generada de forma aleatoria) de soluciones; ésta población es sometida a una serie de transformaciones con el fin de mejorar dichas soluciones. Las transformaciones se realizan en el bucle principal del algoritmo; que consta de tres etapas fundamentales: *Selección*, *Reproducción* y *Reemplazo*.

¹¹ Los resultados de un trabajo válido de simulación pueden dar lugar a más experimentación en la cual se modifica ligeramente la definición del problema o se aplican diferentes reglas de decisión. (Se puede usar también para operaciones reales).





La etapa de *Selección* consiste en realizar un muestreo de la población de partida, de manera que se obtenga una nueva población, con el mismo número de individuos que la inicial. Esta etapa busca mejorar la calidad de la población, favoreciendo a los individuos más adecuados para un problema dado (la medición de la “calidad” de un individuo se realiza calculando su *fitness* el cual indica cuán buena es una solución). Si bien existen numerosas técnicas para realizar el muestreo, el método más frecuente consiste en emplear un muestreo por sorteo.

La etapa de *Reproducción* se realiza aplicando los llamados “operadores genéticos”, siendo el “cruce” y la “mutación” los más habituales. En líneas generales, el operador de cruce, actúa tomando dos progenitores e intercambiando parte de sus cadenas, es decir cruzando sus cadenas para generar dos nuevos individuos, los descendientes. Por su parte el operador de mutación se aplica a un progenitor, alterando, de algún modo, su cadena, por ejemplo cambiando el orden de alguno de sus genes, de este modo, se obtiene un nuevo descendiente. Al finalizar la reproducción se dispone de dos poblaciones independientes, la de los progenitores y la de los descendientes.

El último paso del proceso se basa en el llamado *reemplazo*, consistente en la formación de una nueva población mediante la mezcla de las dos iniciales.

3.8 SOFTWARES

➤ **MULTIPLE** (MULTI- floor Plant Layout Evaluation) fue desarrollado por Bozer, Meller y Erlebacher, originalmente desarrollado para múltiples instalaciones, su función es idéntica a la de CRAFT ya que maneja la distancia entre departamentos a través de centroides y los departamentos pueden adquirir cualquier tipo de forma. El MULTIPLE es un tipo de algoritmo que mejora la distribución empezando por una disposición inicial especificada por el planificador de la distribución, generando curvas matemáticas en el rectángulo (cuadrículado), e ir tomando cada cuadrado para tomar la dimensión del departamento, como si fuese una ruta para la localización de departamentos, y ésta se puede emplear para múltiples distribuciones de planta.

➤ **El BLOCPLAN**, fue desarrollado por Donaghey y Pire, aquí los departamentos se arreglan en bandas, y en todos los departamentos se respetan la forma de dimensiones, utiliza un diagrama de relación así como una caja o rectángulos con datos de entrada para el flujo. El número de bandas es determinado por el programa y limitado a dos o tres bandas, sin embargo, a las anchuras de la banda se los permite variar y así determinar la nueva distribución.



CAPÍTULO 4

REDES NEURONALES

ARTIFICIALES

4.1 ANTECEDENTES

El cerebro es un procesador de información con unas características muy notables, es capaz de procesar a gran velocidad grandes cantidades de información procedentes de los sentidos, combinarla o compararla con la información almacenada y dar respuestas adecuadas incluso en situaciones nuevas, logra distinguir una cara en una calle mal iluminada o leer entre líneas en una declaración política; pero lo más impresionante de todo es su capacidad de aprender a representar la información necesaria para desarrollar tales habilidades sin instrucciones explícitas para ello. Aunque todavía se ignora mucho sobre la forma en que el cerebro aprende a procesar la información, se han desarrollado modelos que tratan de adoptar tales habilidades; *denominados redes neuronales artificiales ó modelos de computación conexionista (otras denominaciones son computación neuronal y procesamiento distribuido paralelo o P.D.P.).*

Pese al elevado nivel y desarrollo de las computadoras actuales, capaces de realizar tareas de cálculo u ordenación de forma increíblemente rápida, no es suficiente para obtener resultados aceptables en tareas de percepción (reconocimiento de formas, interpretación de sonidos, etc.), donde la capacidad





del cerebro para identificar características y realizar asociaciones sin aparente esfuerzo es incomparable.

De igual modo, aunque bien conocido a nivel de elementos de proceso, el sistema nervioso es un gran desconocido bajo el prisma del estudio de sus conexiones masivas, al igual que ciertamente lo es desde el punto de vista de la especialización de la estructuras en el desarrollo de cada tarea encomendada al mismo, visión, tacto, clasificación, reconocimiento, envío de señales de forma paralela, etc. Con estas premisas, se ha intentado tomar ciertas características de la fisiología y del funcionamiento del cerebro como base para nuevos modelos de sistemas de procesamiento de información, estas técnicas han recibido el nombre de “*redes neuronales artificiales*”.

4.2 QUE SON LAS REDES NEURONALES ARTIFICIALES

La filosofía de esta nueva tecnología consiste diseñar y construir un modelo de red neuronal, para que de algún modo, emular estructuras, funciones o incluso tendencias representadas en modelos simplificados del Sistema Nervioso Central, que cumplan con las características o parte de ellas que determinan, en los sistemas biológicos, su capacidad para realizar un tratamiento inteligente de la información, por muy básico que pueda ser el organismo.

Existen multitud de problemas, en ingeniería, que involucran la extracción de información útil y su procesamiento, a partir de datos incompletos, en muchos de los cuales, los métodos clásicos han fracasado. La gran ventaja de las redes neuronales es su capacidad de aprender a partir de las variables que identifican el problema, extrayendo los datos necesarios para generar un modelo y una red capaz de resolverlo y, sobre todo, partiendo de un conocimiento mínimo de la esencia del problema.

Los primeros teóricos que concibieron los fundamentos de la computación neuronal fueron *Warren McCulloch* y *Walter Pitts*, neurofisiólogo y matemático respectivamente, quienes en 1934 propusieron una teoría acerca de la forma de trabajar de las neuronas, y modelaron una red neuronal simple, mediante circuitos eléctricos. En 1936, *Alan Turing* fue el primero en estudiar el cerebro como una forma de ver el mundo de la computación.

La más antigua red neuronal es el *Perceptrón*, desarrollado por *Frank Rosenblatt* en 1957. En 1959, *Bernard Widrow* y *Marcial Hoff* desarrollaron el modelo *Adaline* (ADaptive LINear Elements), que fue la primera red en aplicarse a un problema real (filtros adaptativos para eliminar ecos en las líneas telefónicas). En 1969 *Marvin Minsky* y *Seymour Papert* publicaron un libro llamado “*Perceptrons*” que denunciaba las limitaciones de esta red neuronal, lo que frenó por un tiempo las investigaciones





en este campo. Sin embargo, *Kunihiko Fukushima* desarrolló tiempo después el *Neocognitrón*, un modelo de red neuronal para el reconocimiento de patrones visuales, y en 1982, *John Hopfield* presentó su trabajo sobre redes neuronales donde describía detalladamente la red a la que se le ha dado su nombre (*Red de Hopfield*), e incluía sus aplicaciones y funcionamiento (Freeman y Skapura, 1993). Posteriormente, se han publicado numerosos artículos acerca de las investigaciones realizadas por científicos en todo el mundo, que difunden las aplicaciones y los productos más recientes, tanto de software como de hardware, por lo que en el mercado se encuentran disponibles por ejemplo, diversos simuladores de varios tipos de redes neuronales.

Actualmente, existen diversas conferencias y reuniones anuales sobre redes neuronales, además de organismos dedicados a la divulgación de artículos de investigación realizados en instituciones prestigiadas, como el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT, por sus siglas en inglés), que tienen como tema central las aplicaciones y desarrollo la tecnología de las redes neuronales. Entre otros eventos anuales, pueden mencionarse los siguientes: *Internacional Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*, *International Conference on Artificial Neural Networks (ICANN)* organizada por la *Sociedad Europea de Redes Neuronales*, y la *reunión anual Neural Information Processing Systems (NIPS)*. Algunas revistas especializadas en esta área son: *Neural Networks*, revista oficial de la Sociedad Internacional de Redes Neuronales (INNS); *Network, Computation in Neural System*; *IEEE Transaction on Neural Networks* publicada por *IEEE Neural Networks Council*; *Neural Computation e International Journal of Neural Systems*.

El problema de distribución en planta ha sido resuelto por medio de diversas metodologías y utilizando herramientas muy variadas. Las *metodologías* desarrolladas para resolver el problema de distribución comenzaron a utilizarse en los años cincuenta. Algunas conocidas son “*Sequence Análisis*” o Análisis Secuencial y “*Systematic Layout Planning*” o Planeación de Distribución Sistemática, desarrollada por Richard Muther. Ésta última es la más utilizada actualmente, ya que puede aplicarse no solamente en plantas industriales, sino en tipos de instalaciones tan variados como centros de salud, edificios administrativos, centros comerciales, viviendas, entre otros.

Visto desde su representación matemática, el problema de distribución también se ha desarrollado con distintos modelos matemáticos, utilizando múltiples métodos, técnicas y herramientas para resolverlos. Esencialmente se han desarrollado algunos tipos de aproximaciones, de las cuales se derivan en su mayoría los resultados alcanzados por las investigaciones, aunque, sin embargo, su gran desventaja ha sido que ninguna de estas aproximaciones garantizan obtener la optimalidad. En general, el problema de distribución de planta se ha modelado como un problema de asignación cuadrático, como un problema de programación lineal entera, como un problema de programación





mixta-entera, y como un problema de *teoría de gráficas*. Las dos básicas son la de teoría de gráficas y la del *problema de asignación cuadrático*, las cuales se explican más adelante.

Entre otros métodos y herramientas utilizados para la resolución de este problema, pueden mencionarse los *algoritmos genéticos*, un tipo de método computacional muy conocido y empleado hoy en día; son algoritmos de búsqueda basados en la mecánica de la selección natural y de la genética natural; los *algoritmos evolutivos*, que están inspirados en la teoría de la evolución de Darwin e intentan emular en lo posible a la Naturaleza, y que asocian los cromosomas y los genes a cadenas de bits o a vectores de números reales; y las redes neuronales, una herramienta derivada de la inteligencia artificial que es utilizada para una amplia variedad de aplicaciones, en la cual se pretende representar el comportamiento de las redes neuronales biológicas por medio de circuitos eléctricos o por medio de una simulación de ellas en una computadora.

Al utilizar estos métodos y herramientas, y debido a que este tipo de problemas tienen una alta complejidad que se incrementa exponencialmente, tampoco se garantiza la optimalidad. Sin embargo, como el tiempo de cálculo requerido para la mayoría de las herramientas que se utilizan (computadoras, neurocomputadoras, o circuitos electrónicos) es mayor, según la complejidad del problema, siempre es preferible encontrar una solución aceptable, encontrada más rápidamente, que la solución óptima, que podrían encontrarse en un plazo de tiempo posiblemente demasiado largo, haciendo de esta solución, inútil en el lapso de tiempo considerado.

En este capítulo, se describen algunos de los métodos mayormente utilizados; entre ellos, la metodología más conocida, así como algunas de las técnicas y herramientas más comunes para la resolución del problema de distribución, a fin de presentar las alternativas existentes y definir el método y la herramienta que se ha seleccionado para el propósito de este trabajo.

4.2.1 Historia sobre los precursores de las redes neuronales

En 1956 se organizó en Dartmouth la primera conferencia sobre IA, aquí se discutió el uso potencial de las computadoras para simular “todos los aspectos del aprendizaje o cualquier otra característica de la inteligencia” y se presentó la primera simulación de una red neuronal, aunque todavía no se sabían interpretar los datos resultantes.

En 1959, *Widrow* publica una teoría sobre la adaptación neuronal y unos modelos inspirados en esa teoría, el Adaline (Adaptative Linear Neuron) y el Madaline (Multiple Adaline). Estos modelos





fueron usados en numerosas aplicaciones y permitieron usar, por primera vez, una red neuronal en un problema importante del mundo real: filtros adaptativos para eliminar ecos en las líneas telefónicas.

En 1962, **Roseblatt** publica los resultados de un ambicioso proyecto de investigación, el desarrollo del Perceptrón, un identificador de patrones ópticos binarios, y salida binaria. Las capacidades del Perceptrón se extendieron al desarrollar la regla de aprendizaje delta, que permitía emplear señales continuas de entrada y salida.

1969, **Minsky y Papert** realizan una seria crítica del Perceptrón, revelando serias limitaciones, como su incapacidad para representar la función XOR, debido a su naturaleza lineal. Este trabajo creó serias dudas sobre las capacidades de los modelos conexionistas y provocó una caída en picado de las investigaciones.

Años 70: a pesar del duro golpe que supuso el trabajo de Minsky y Papert para las investigaciones en computación conexionista, un puñado de investigadores siguió trabajando y desarrollando nuevas ideas:

- **Anderson**, en 1977 estudia y desarrolla modelos de memorias asociativas. Destaca el autoasociador lineal conocido como modelo brain-state-in-a-box (BSB).
- **Kohonen**, en 1984 continúa el trabajo de Anderson y desarrolla modelos de aprendizaje competitivo basados en el principio de inhibición lateral, su principal aportación consiste en un procedimiento para conseguir que unidades físicamente adyacentes aprendieran a representar patrones de entrada similares; a las redes basadas en este procedimiento se las denomina Redes de Kohonen.
- **Grossberg**, en 1987 realizó un importante trabajo teórico - matemático tratando de basarse en principios fisiológicos; aportó importantes innovaciones con su modelo ART (Adaptative Resonance Theory) y, junto a Cohen, elabora un importante teorema sobre la estabilidad de las redes recurrentes en términos de una función de energía.

Años 80: En esta década se produce el renacimiento del interés por el campo gracias sobre todo al trabajo del el grupo PDP y las aportaciones de Hopfield.

- **Rumelhart, McClelland & Hinton**, crean el grupo PDP (Parallel Distributed Processing). Como resultado de los trabajos de este grupo salieron los manuales Rumelhart y McClelland en 1986 y 1988 con más influencia desde la crítica de Minsky y papera, destaca el capítulo dedicado al algoritmo de retropropagación, que soluciona los problemas planteados por





Minsky y Papert y extiende enormemente el campo de aplicación de los modelos de computación conexionistas.

- **Hopfield**, en 1982 elabora un modelo de red consistente en unidades de proceso interconectadas que alcanzan mínimos energéticos, aplicando los principios de estabilidad desarrollados por Grossberg. El modelo de Hopfield resultó muy ilustrativo sobre los mecanismos de almacenamiento y recuperación de la memoria, su entusiasmo y claridad de presentación dieron un nuevo impulso al campo y provocaron el incremento de las investigaciones.
- Otros desarrollos destacables de esta década son la máquina de **Boltzmann** (Hinton y Sejnowski en 1986) y los modelos BAM, Kosko 1987.

4.3 DEFINICIONES SOBRE LAS REDES NEURONALES ARTIFICIALES (RNA)

Algunas definiciones para las Redes Neuronales Artificiales (RNA) son las siguientes:

“Son redes interconectadas masivamente en paralelo de elementos simples (usualmente adaptativos) y con organización jerárquica, las cuales intentan interactuar con los objetos del mundo real del mismo modo que lo hace el sistema nervioso biológico” (Hilera González y Martínez Hernando, 2000).

“Un modelo matemático compuesto por un gran número de elementos procesales organizados en niveles” (Freeman y Skapura, 1993).

“Las redes de neuronas artificiales (RNA) son un paradigma de aprendizaje y procesamiento automático inspirado en la forma en que funciona el sistema nervioso de los animales. Consiste en simular las propiedades observadas en los sistemas neuronales biológicos a través de modelos matemáticos recreados mediante mecanismos artificiales (como un circuito integrado, un ordenador o un conjunto de válvulas). El objetivo es conseguir que las máquinas den respuestas similares a las que es capaz el cerebro que se caracterizan por su generalización y su robustez”. (Wikipedia, la enciclopedia libre).

En general existen muchas definiciones de una red neuronal, y puede considerarse como un grupo de elementos de procesamiento interconectados jerárquicamente, basados en el funcionamiento de su análogo biológico, que aprende, evoluciona y resuelve distintos tipos de problemáticas.

4.3.1 Distintas visiones o enfoques de los modelos conexionistas





La formulación de modelos neuronales se aborda hoy desde una óptica multidisciplinar, psicólogos cognitivos, neurofisiólogos, matemáticos, físicos, ingenieros, estudiosos de las ciencias de la computación, convergen en esta temática dando lugar a una “fertilización cruzada”, ya que cada disciplina toma de los otros nuevos estilos o aproximaciones en el análisis de problemas.

- **Enfoque computacional.** Desde esta aproximación se intentan desarrollar modelos de computación eficientes, con la máxima potencia y simplicidad. Dentro de este enfoque destacaríamos el área del aprendizaje inductivo y el área de reconocimiento de formas.
- **Enfoque cognitivo.** Se interesa sobre todo por las capacidades cognitivas de estos modelos, sin considerar la necesidad de mantener una atención biológica. Busca modelos cognitivos potentes y sencillos, centrándose sobre todo en la problemática de la representación del conocimiento.
- **Enfoque biocognitivo.** Parecido al anterior pero tomando como premisa la atención biológica de los modelos, esto no supone un respeto y fidelidad absolutas a los procesos neurofisiológicos, sino que tratan de recrear las características generales de dichos mecanismos para aplicarlos a las tareas típicamente cognitivas (lenguaje natural, visión, etc.), aprovechando las cualidades inherentes al cerebro como procesador de información.
- **Enfoque psicofisiológico** Trata de comprender los mecanismos naturales implicados en los procesos cognitivos reales, percepción, razonamiento, memoria, etc. Resulta interesante en cuanto permite poner a prueba teorías psicológicas y neurofisiológicas.

4.4 REDES NEURONALES BIOLÓGICAS

La neurona biológica (ver figura 4.1) es la unidad funcional del sistema nervioso y está formada por el cuerpo celular, que contiene el núcleo y la mayor parte del citoplasma; unas prolongaciones cortas, normalmente muy ramificadas, que salen del cuerpo celular y que reciben el nombre de dendritas; y una prolongación más larga denominada axón. El axón de las neuronas del sistema nervioso periférico está rodeado de múltiples capas de membrana celular (mielina) de una célula de Schwann. Esta capa mielínica está interrumpida periódicamente en los nódulos de Ranvier. (Encarta 2004)

La idea que animó el modelo conexionista fue la de imitar el sistema de computación más complejo de los que se conocen hasta ahora, que es el cerebro. El cerebro está formado por millones de





neuronas. Estas neuronas son unos procesadores de información muy sencillos con un canal de entrada de información (dendritas), un órgano de cómputo (soma) y un canal de salida de información (axón).

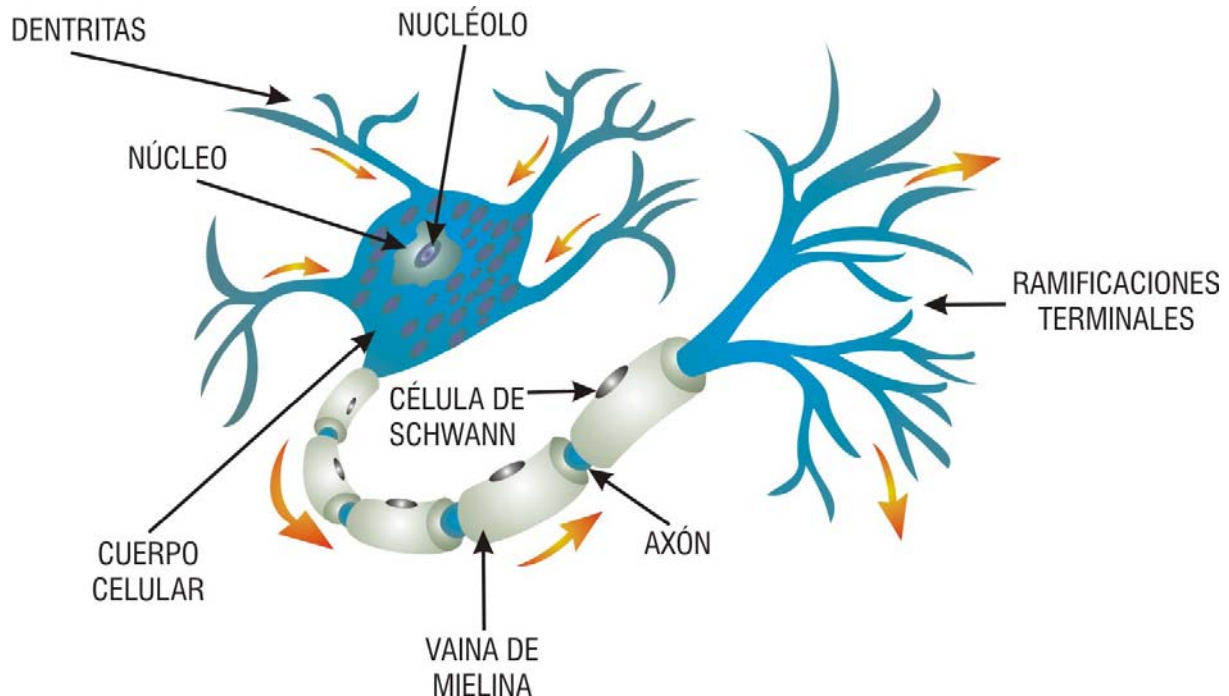


Figura 4.1.- Representación de una neurona biológica
Fuente: Encarta 2004

De esta forma, las RNA imitan en cierto modo la estructura y física y el modo de operación de un cerebro. Teniendo en cuenta que el cerebro presenta las cualidades de procesamiento paralelo, procesamiento distribuido y adaptabilidad, un sistema RNA tiene también estas características. El sistema resulta ser intrínsecamente paralelo porque esta formado por unidades elementales de procesamiento llamadas neuronas, cada neurona realiza un tipo de procesamiento muy simple.

El sistema es distribuido, quiere decir que la información no se almacena localmente en ciertas zonas concretas de la RNA sino que se halla presente por toda ella, en concreto, se almacena en la sinapsis entre las neuronas, de igual forma, la computación es también distribuida. Al calcular la respuesta de la red neuronal intervienen todos y cada uno de los procesadores elementales, los cuales se hallan distribuidos por toda la arquitectura de la red. Además, este carácter distribuido hace que la red presente tolerancia a fallos (si se pierde una parte de las neuronas no se pierde toda la información).

Una red neuronal presenta además un grado de adaptabilidad que se concreta en las capacidades de aprendizaje y generalización. Por aprendizaje entendemos la capacidad para recoger información de





las experiencias y utilizarlas para actuar ante situaciones futuras. Íntimamente relacionada con el aprendizaje esta la generalización, que podría definirse como la capacidad para abstraer la información útil, más allá de los casos particulares. De esta manera, la RNA es capaz de responder ante casos desconocidos.

4.5 LA NEURONA ARTIFICIAL

La unidad básica de una RNA es la neurona, aunque hay varios tipos de neuronas diferentes, la más común es la de tipo McCulloch-Pitts. En la siguiente figura puede verse una representación de la misma.

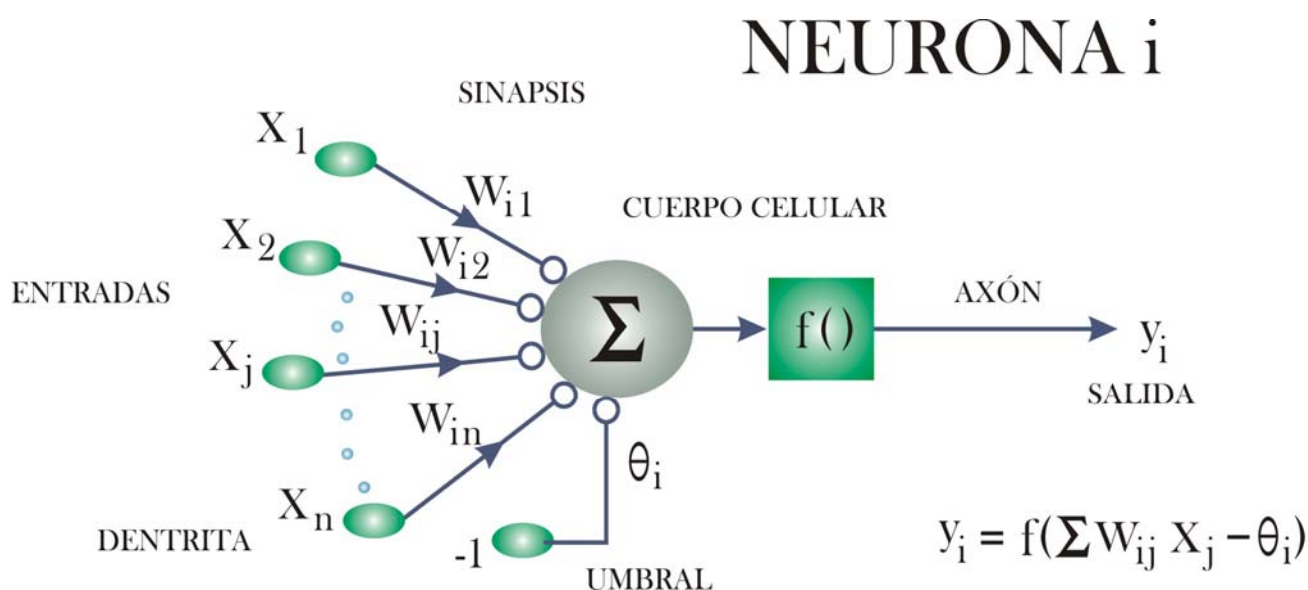


Figura 4.2.- Esquema de una neurona artificial con su función de activación y función de disparo
Fuente: lorien.die.upm.es/insn/docs/capitulo22-RedesNeuronales.pdf

Una neurona artificial es un procesador elemental, en el sentido de que procesa un vector x (x_1, x_2, \dots, x_N) de entradas y produce una respuesta o salida única. Los elementos clave de una neurona artificial los podemos ver en la figura anterior y son los siguientes:

- ➔ **Las entradas.** Que reciben los datos de otras neuronas. En una neurona biológica corresponderían a las dendritas
- ➔ **Los pesos sinápticos w_{ij} .** Al igual que en una neurona biológica se establecen sinapsis entre las dendritas de una neurona y el axón de otra, en una neurona artificial a las entradas que vienen de otras neuronas se les asigna un peso, un factor de importancia. Este peso, que es un número, se modifica durante el entrenamiento de la red neuronal, y es aquí por tanto donde se almacena la información que hará que la red sirva para un propósito u otro.





➤ **Una regla de propagación.** Con esas entradas y los pesos sinápticos, se suele hacer algún tipo de operación para obtener el valor del potencial postsináptico (valor que es función de las entradas y los pesos y que es el que se utiliza en último término para realizar el procesamiento). Una de las operaciones más comunes es sumar las entradas, pero teniendo en cuenta la importancia de cada una (el peso sináptico asociado a cada entrada).

Es lo que se llama suma ponderada, aunque otras operaciones también son posibles.

Ecuación Suma ponderada

$$h_i(t) = \sum_j w_{ij} x_j$$

La otra regla de propagación más habitual es la distancia euclídea. Este es el tipo de regla que tienen redes como el SOM o las RBF.

➤ **Una función de activación.** El valor obtenido con la regla de propagación, se filtra a través de una función conocida como función de activación y es la que nos da la salida de la neurona. Según para lo que se desee entrenar la red neuronal, se suele escoger una función de activación u otra en ciertas neuronas de la red. En la figura 4.3 se muestran las funciones de activación más usuales.

	FUNCIÓN	RANGO	GRÁFICA
IDENTIDAD	$y = x$	$[-\infty, +\infty]$	
ESCALÓN	$y = \text{sign}(x)$ $y = \hat{h}(x)$	$\{-1, +1\}$ $\{0, +1\}$	
LINEAL A TRAMOS	$y = \begin{cases} -1, & \text{si } x < -1 \\ x, & \text{si } -1 \leq x \leq 1 \\ +1, & \text{si } x > 1 \end{cases}$	$[-1, +1]$	
SIGMOIDEA	$y = \frac{1}{1 + e^{-x}}$ $y = \text{tgh}(x)$	$[0, +1]$ $[-1, +1]$	
GAUSSIANA	$y = \mathcal{A}e^{-Bx^2}$	$[0, +1]$	
SINUSOIDAL	$y = \mathcal{A} \text{sen}(\omega x + \varphi)$	$[-1, +1]$	





Figura 4.3.- Funciones de activación más usuales

Fuente: <http://www.itba.edu.ar/capis/webcapis/RGMITBA/tesistas/ber-tona-tesisingenieraiainformatica.pdf>

En muchas ocasiones la razón para la aplicación de una función de activación distinta de la identidad surge de la necesidad de que las neuronas produzcan una salida acotada. Esto desde un punto de vista de similitud con el sistema biológico, no es tan descabellado, ya que las respuestas de las neuronas biológicas están acotadas en amplitud. Además cada neurona tiene asociado un número denominado bias o umbral, que puede verse como un número que indica a partir de que valor del potencial postsináptico la neurona produce una salida significativa.

4.5.1 Redes neuronales artificiales analogía con las redes neuronales biológicas

Las neuronas se modelan mediante unidades de proceso, cada unidad de proceso se compone de una red de conexiones de entrada, una función de red de propagación encargada de computar la entrada total combinada de todas las conexiones, un núcleo central de proceso encargado de aplicar la función de activación, y la salida por dónde se transmite el valor de activación a otras unidades, ver siguiente figura:

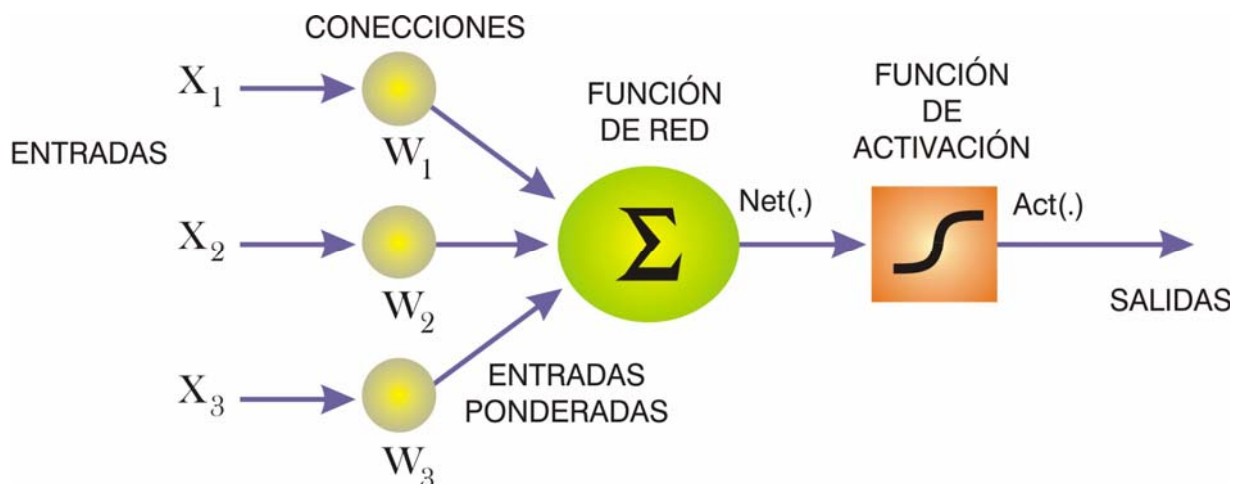


Figura 4.4.- Unidad de proceso típica

Fuente: <http://www.redes-neuroales.tk/>

La función de red es típicamente el sumatorio ponderado, mientras que la función de activación suele ser alguna función de umbral o una función sigmoideal.





- **Función de propagación o de red.** Calcula el valor de base o entrada total a la unidad, generalmente como simple suma ponderada de todas las entradas recibidas, es decir, de las entradas multiplicadas por el peso o valor de las conexiones, equivale a la combinación de las señales excitatorias e inhibitorias de las neuronas biológicas.
- **Función de activación.** Es quizás la característica principal o definitoria de las neuronas, la que mejor define el comportamiento de la misma, se usan diferentes tipos de funciones, desde simples funciones, simples de umbral o funciones no lineales. Se encarga de calcular el nivel o estado de activación de la neurona en función de la entrada total.
- **Conexiones ponderadas.** Hacen el papel de las conexiones sinápticas, el peso de la conexión equivale a la fuerza o efectividad de la sinápsis. La existencia de conexiones determina si es posible que una unidad influya sobre otra, el valor de los pesos y el signo de los mismos definen el tipo (excitatorio/inhibitorio) y la intensidad de la influencia.
- **Salida.** calcula la salida de la neurona en función de la activación de la misma, aunque normalmente no se aplica más que la función identidad, y se toma como salida el valor de activación. El valor de salida cumpliría la función de la tasa de disparo en las neuronas biológicas, de momento consideramos el caso más simple, aunque en el apartado de sistemas neurofuzzy veremos un caso en que se utiliza una función de salida diferente a la identidad.

Para hacer un poco más entendible las diferencias entre una red neuronal biológica a una artificial se presenta la siguiente tabla donde se muestra una comparación de ambas.

Tabla 4.1.- Comparación entre las neuronas biológicas reales y las unidades de proceso artificiales

REDES NEURONALES BIOLÓGICAS	REDES NEURONALES ARTIFICIALES
▲ Neuronas	▲ Unidades de proceso
▲ Conexione sinápticas	▲ Conexiones ponderadas
▲ Efectividad de la sinapsis	▲ Paso de las conexiones
▲ Efecto exitatorio u inhibitorio de una conexión	▲ Signo del peso de una conexión
▲ Efecto combinado de la sinapsis	▲ Función de propagación de la red
▲ Activación = Tasa de disparo	▲ Función de activación = Salida

Fuente: <http://www.redes-neuroales.tk/>

4.5.2 Arquitectura y formas de interconexión





Desde un punto de vista matemático, se puede ver una red neuronal como un grafo dirigido y ponderado donde cada uno de los nodos son neuronas artificiales y los arcos que unen los nodos son las conexiones sinápticas. Al ser dirigido, los arcos son unidireccionales. ¿Qué quiere decir esto? En el lenguaje de neuronas y conexiones significa que la información se propaga en un único sentido, desde una neurona presináptica (neurona origen) a una neurona postsináptica (neurona destino).

Por otra parte es ponderado, lo que significa que las conexiones tienen asociado un número real, un peso, que indica la importancia de esa conexión con respecto al resto de las conexiones. Si dicho peso es positivo la conexión se dice que es excitadora, mientras que si es negativa se dice que es inhibitoria.

Para diseñar una red debemos establecer como estarán conectadas unas unidades con otras y determinar adecuadamente los pesos de las conexiones, lo más usual es disponer las unidades en forma de capas¹², pudiéndose hablar de redes de una, de dos o de más de dos capas, las llamadas redes multicapa.

Aunque inicialmente se desarrollaron redes de una sola capa, lo más usual es disponer tres o más capas: la primera capa actúa como buffer de entrada, almacenando la información bruta suministrada a la red o realizando un sencillo pre-proceso de la misma, la llamamos *capa de entrada*; otra capa actúa como interfaz o buffer de salida, almacenando la respuesta de la red para que pueda ser leída, la llamamos *capa de salida*; y las capas intermedias, principales encargadas de extraer, procesar y memorizar la información, las denominamos *capas ocultas* (ver figura 4.5).

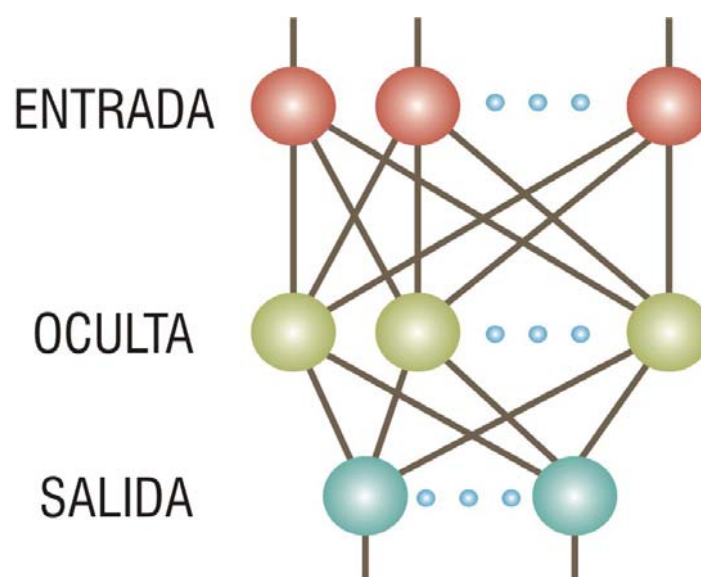


Figura 4.5.-Estructura de una red neuronal artificial feedforward

¹² En algunos manuales (Wassermann), se cuentan sólo aquellas capas que poseen conexiones de entrada modificables, según este criterio la capa de entrada no contaría como tal.





Fuente: <http://www.zonanosaturada.com/publics/V6/p295-304.pdf>

Además del número de capas de una red, en función de como se interconectan unas capas con otras, podemos hablar de redes recurrentes (feedback) y redes no recurrentes o redes en cascada (feedforward).

En las redes en cascada la información fluye unidireccionalmente de una capa a otra (desde la capa de entrada a las capas ocultas y de éstas a la capa de salida), y además, no se admiten conexiones intracapa. En las redes recurrentes la información puede volver a lugares por los que ya había pasado, formando bucles, y se admiten las conexiones intracapa (laterales), incluso de una unidad consigo misma.

Las conexiones entre una capa y otra pueden ser totales, es decir, que cada unidad se conecta con todas las unidades de la capa siguiente, o parciales, en las cuales una unidad se conecta con sólo algunas de las capas de la unidad siguiente, generalmente siguiendo algún patrón aleatorio o pseudo-aleatorio (por ejemplo, mediante algoritmos genéticos).

Desde una aproximación temporal se puede distinguir además entre conexiones sin retardo y *conexiones con retardo*. Esto permite modelar aspectos dinámicos, por ejemplo para modelos psicofisiológicos de memoria.

4.5.3 Características de las redes neuronales artificiales

1. **Aprendizaje inductivo.** No se le indican las reglas para dar una solución, sino que extrae sus propias reglas a partir de los ejemplos de aprendizaje, modifican su comportamiento en función de la experiencia, esas reglas quedan almacenadas en las conexiones y no representadas explícitamente como en los sistemas basados en conocimiento (simbólico-deductivos).
2. **Generalización.** Una vez entrenada, se le pueden presentar a la red datos distintos a los usados durante el aprendizaje. La respuesta obtenida dependerá del parecido de los datos con los ejemplos de entrenamiento.
3. **Abstracción o tolerancia al ruido.** Las redes neuronales artificiales son capaces de extraer o abstraer las características esenciales de las entradas aprendidas, de esta manera pueden procesar correctamente datos incompletos o distorsionados.





4. **Procesamiento paralelo.** Las neuronas reales trabajan en paralelo; en el caso de las redes artificiales es obvio que si usamos un solo procesador no podrá haber proceso paralelo real; sin embargo hay un paralelismo inherente, lo esencial es que la estructura y modo de operación de las redes neuronales las hace especialmente adecuadas para el procesamiento paralelo real mediante multiprocesadores (se están desarrollando máquinas específicas para la computación neuronal).

5. **Memoria distribuida.** El conocimiento acumulado por la red se halla distribuido en numerosas conexiones, esto tiene como consecuencia la tolerancia a fallos: una red neuronal es capaz de seguir funcionando adecuadamente a pesar de sufrir lesiones con destrucción de neuronas o sus conexiones, ya que la información se halla distribuida por toda la red, sin embargo en un programa tradicional un pequeño fallo en cualquier punto puede invalidarlo todo y dar un resultado absurdo o no dar ningún resultado.

4.5.4 Ventajas de las redes neuronales artificiales

Las Redes de Neuronas Artificiales (RNA) tienen muchas ventajas debido a que están basadas en la estructura del sistema nervioso, principalmente el [cerebro](#).

- **Aprendizaje.** Las RNA tienen la habilidad de aprender mediante una etapa que se llama *etapa de aprendizaje*. Esta consiste en proporcionar a la RNA datos como entrada a su vez que se le indica cuál es la salida (respuesta) esperada.

- **Auto organización.** Una RNA crea su propia representación de la información en su interior, descargando al usuario de esto.

- **Tolerancia a fallos.** Debido a que una RNA almacena la información de forma redundante, ésta puede seguir respondiendo aceptablemente aún si parcialmente se daña.

- **Flexibilidad.** Una RNA puede manejar cambios no importantes en la información de entrada, como señales con ruido u otros cambios en la entrada (ejemplo, si la información de entrada es la imagen de un objeto, y la respuesta correspondiente no sufre cambios, la imagen cambia un poco su brillo o el objeto cambia ligeramente).





- **Tiempo real.** La estructura de una RNA es paralela, es implementado con computadoras o en dispositivos electrónicos especiales, se pueden obtener respuestas en tiempo real.

4.6 CLASIFICACIÓN DE LAS RNA

Las RNA pueden clasificarse de acuerdo a diferentes criterios, los más comunes son los que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4.2.- Clasificación del RNA

CLASIFICACIÓN DE LAS REDES NEURONALES ARTIFICIALES	
Tipo de aprendizaje	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Supervisado ⊙ No supervisado ⊙ Auto supervisado
Modo de operación	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ On-line ⊙ Off-line
La funcionalidad de la red	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Asociador de patrones ⊙ Autoasociador ⊙ Constructor de Clasificaciones ⊙ Detector de regularidades
La arquitectura de la interconexión de la red	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Feedforward ⊙ Feedback ⊙ Recurrent
El número de capas	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Monocapa ⊙ Bicapa ⊙ Multicapa
El algoritmo de aprendizaje	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Hebbiano ⊙ Retropropagación ⊙ Wodrow-Hoff ⊙ Temple simulado o Simulated annealing
Tipo de datos procesados	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Binario ⊙ Discreto ⊙ Continuo ⊙ Difuso

Fuente: Martínez González, C. L. (2002)





Por otra parte teniendo en cuenta los componentes básicos de toda red neuronal, los distintos modelos de red neuronal también pueden clasificarse de acuerdo con tres criterios básicos, que a continuación se mencionan y se explican:

1. *La naturaleza de las señales de entrada y salida.*
2. *La topología de la red.*
3. *El mecanismo de aprendizaje que utilizan.*

1.- De acuerdo con la **naturaleza** de las señales de entrada y de salida podemos clasificar las redes neuronales en analógicas, discretas (generalmente, binarias) e híbridas:

- a) **Las redes analógicas**, procesan datos de entrada de naturaleza analógica, valores reales continuos, habitualmente acotados y usualmente en el compacto $[-1, 1]$ o en el $[0, 1]$, para dar respuestas también continuas. Las redes analógicas suelen presentar funciones de activación continuas, habitualmente lineales o sigmoides, entre estas redes neuronales destacan las redes de Backpropagation, la red continua de Hopfield, la de Contrapropagación, la Memoria Lineal Asociativa, la Brain-State-in-Box, y los modelos de Kohonen (mapas auto-organizados (S.O.M.) y Learning Vector Quantizer, (L.V.Q.)).
- b) **Las redes discretas** (binarias) procesan datos de naturaleza discreta, habitualmente $\{0,1\}$, para acabar emitiendo una respuesta discreta. Entre las redes binarias destacan la Máquina de Boltzman, la Máquina de Cauchy, la red discreta de Hopfield, el Cognitrón y el Neogognitrón.
- c) **Las redes híbridas**, procesan entradas analógicas para dar respuestas binarias, entre ellas destacan el Perceptrón, la red Adaline y la Madaline.

2.- Por lo que hace a la **topología** de la red, las redes pueden clasificarse de acuerdo con el número de capas o niveles de neuronas, el número de neuronas por capa y el grado y tipo de conectividad entre las mismas. La primera distinción a establecer es entre las redes Monocapa y las Multicapa (ver figura 4.6).



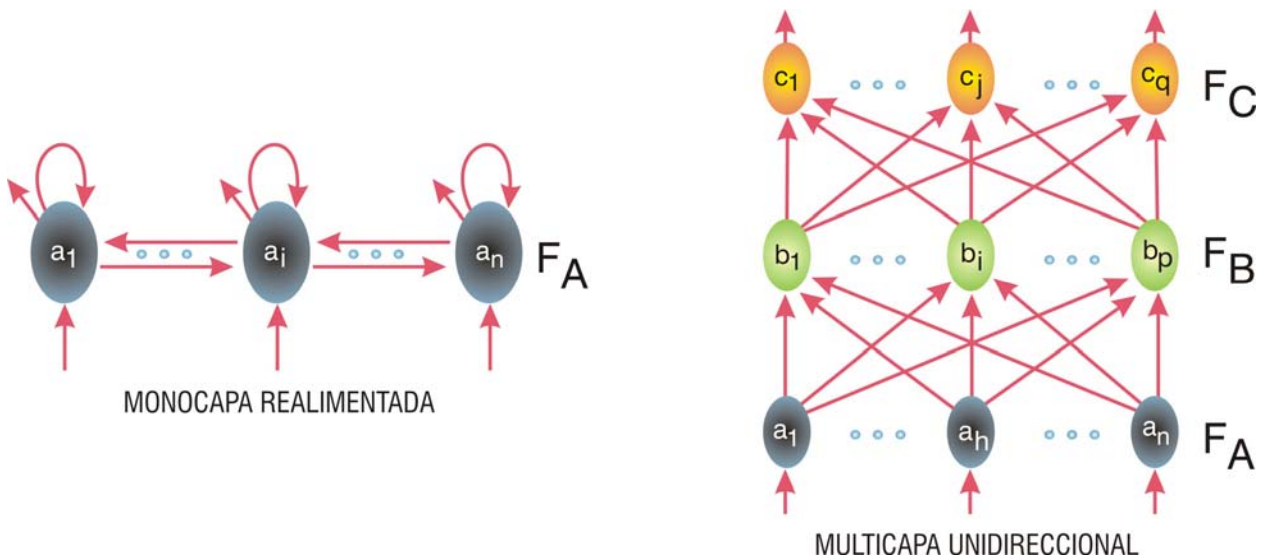


Figura 4.6.- Representación de redes realimentadas y unidireccionales

Fuente: lorien.die.upm.es/insn/docs/capitulo22-RedesNeuronales.pdf

- a) **Las redes Monocapa**, sólo cuentan con una capa de neuronas, que intercambian señales con el exterior y que constituyen a un tiempo la entrada y salida del sistema. En las redes Monocapa (red de Hopfield o red Brain-State-in-Box, máquina de Boltzman, máquina de Cauchy), se establecen conexiones laterales entre las neuronas, pudiendo existir, también conexiones autorrecurrentes (la salida de una neurona se conecta con su propia entrada), como en el caso del modelo Brain-State-in Box.
- b) **Las redes Multicapa**, disponen de conjuntos de neuronas jerarquizadas en distintos niveles o capas, con al menos una capa de entrada y otra de salida, y, eventualmente una o varias capas intermedias (ocultas).

Normalmente todas las neuronas de una capa reciben señales de otra capa anterior y envían señales a la capa posterior (en el sentido Entrada - Salida), estas conexiones son las siguientes:

- **Redes Feedforward.** Son redes cuyas conexiones provocan que la información se propague hacia adelante de la red.
- **Redes Feedback.** Son redes cuyas señales se propagan hacia atrás, es decir, hacia las capas anteriores de la red.
- **Redes Feedforward/Feedback.** Son redes que tienen conexiones que permiten que la información se propague hacia adelante y hacia atrás.

Entre las primeras destacan los distintos modelos de Kohonen, aunque presentan conexiones laterales y autorrecurrentes, el Perceptrón (multicapa) o M.L.P., las redes Adaline y Madaline, la Memoria Lineal Adaptativa y las Backpropagation. Entre las segundas debemos mencionar el Cognitrón y el





Neocognitrón, junto con los modelos de Resonancia y las máquinas multicapa de Boltzman y Cauchy.

3.- El otro criterio más habitual para clasificar las redes neuronales es el tipo de aprendizaje que se utilice. Hay cuatro clases de aprendizaje distintos:

- a) **Aprendizaje supervisado.** En este tipo de aprendizaje se le proporciona a la RNA una serie de ejemplos consistentes en unos patrones de entrada, junto con la salida que debería dar la red. El proceso de entrenamiento consiste en el ajuste de los pesos para que la salida de la red sea lo más parecida posible a la salida deseada. Es por ello que en cada iteración se use alguna función que nos de cuenta del error o el grado de acierto que esta cometiendo la red.
- b) **Aprendizaje no supervisado o auto organizado.** En este tipo de aprendizaje se presenta a la red una serie de ejemplos pero no se presenta la respuesta deseada. Lo que hace la RNA es reconocer regularidades en el conjunto de entradas, es decir, estimar una función densidad de probabilidad $p(x)$ que describe la distribución de patrones x en el espacio de entrada R^n .
- c) **Aprendizaje híbrido.** Es una mezcla de los anteriores. Unas capas de la red tienen un aprendizaje supervisado y otras capas de la red tienen un aprendizaje de tipo no supervisado. Este tipo de entrenamiento es el que tienen redes como las RBF.
- d) **Aprendizaje reforzado (reinforcement learning).** Es un aprendizaje con características del supervisado y con características del autoorganizado. No se proporciona una salida deseada, pero si que se le indica a la red en cierta medida el error que comete, aunque es un error global.

4.7 LOS MODELOS MÁS COMUNES DE RNA

Existe una serie de modelos que aparecen en la mayoría de estudios académicos y la bibliografía especializada en la siguiente tabla y por ende se explicaran algunos más adelante (ver anexo E).

Tabla 4.3.- Modelos más comunes de redes neuronales

MODELOS DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES





⊙ Perceptrón simple
⊙ Adaline
⊙ Perceptrón multicapa
⊙ Memorias asociativas
⊙ Máquina de Boltzmann
⊙ Redes de Elman
⊙ Redes de Hopfield
⊙ Redes de neuronas de base radial
⊙ Redes de neuronas de aprendizaje competitivo
⊙ Redes de Kohonen

Fuente: Elaboración propia

4.7.1 Aplicaciones de las Redes Neuronales Artificiales

Las RNA han sido aplicadas a un número en aumento de problemas en la vida real (ver tabla 4.4) y de considerable complejidad, donde su mayor ventaja en la solución de problemas que son bastante complejos para la tecnología actual, tratándose de problemas que no tienen una solución algorítmica o cuya solución algorítmica es demasiado compleja para ser encontrada.

En general las RNA son bien nombradas debido a que son parecidas a las del cerebro humano, ya que son buenas para resolver problemas que el humano puede resolver, estos problemas incluyen el reconocimiento de patrones y la predicción del tiempo. El humano tiene capacidad para el reconocimiento de patrones, pero la capacidad de las redes neuronales no se ve afectada por la fatiga, condiciones de trabajo, estado emocional o compensaciones.

Tabla 4.4.- Aplicaciones tecnológicas de las RNA

APLICACIONES TECNOLÓGICAS DE LAS RNA	
⊙	Aprendizaje de gramáticas.
⊙	Clasificación de objetivos.
⊙	Comprensión de imagen.
⊙	Conversión de texto a lenguaje hablado.
⊙	Detección de explosivos.
⊙	Filtro de ruido.
⊙	Identificación de blancos de radares.
⊙	Modelos de sistemas.
⊙	Modelos y predicción de indicadores económicos.
⊙	Predicción.





⊙ Problemas de combinatoria.
⊙ Proceso de señales.
⊙ Reconocimiento de caracteres.
⊙ Reconocimiento de escritura manual.
⊙ Reconocimiento de patrones de imágenes.
⊙ Reconocimiento de textos manuscritos.
⊙ Reconocimiento del habla.
⊙ Servo control.
⊙ Simulación de centrales de producción de energía.
⊙ Síntesis funcional.
⊙ Sistemas de control en reactores, procesos químicos físicos.
⊙ Visión artificial en robots industriales.

Fuente: Elaboración propia.

4.7.2 Campo de aplicación de las RNA

En general la utilización de las redes neuronales artificiales, proporciona resultados mucho mejores que las alternativas de solución existentes, los campos de aplicación son habitualmente todos aquellos en los que se utilizan o pueden utilizarse modelos estadísticos y/o lineales, como los que se muestran en la tabla 4.5:

Tabla 4.5.- Campo de aplicación de las redes neuronales artificiales

CAMPO DE APLICACIÓN DE LAS RNA	
Finanzas	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Predicción de índices. ⊙ Detección de fraudes. ⊙ Riesgo crediticio, clasificación. ⊙ Predicción de la mentalidad de acciones.
Negocios	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Marketing. ⊙ Venta cruzada. ⊙ Campañas de venta.
Tratamiento de texto y procesos de formas.	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Reconocimiento de caracteres impresos mecánicamente. ⊙ Reconocimiento de gráficos. ⊙ Reconocimiento de caracteres escritos a mano. ⊙ Reconocimiento de escritura manual cursiva.
Alimentación.	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Análisis de olor y aromas. ⊙ Perfilamento de clientes en función de compra. ⊙ Desarrollo de productos. ⊙ Control de calidad.
Energía.	<ul style="list-style-type: none"> ⊙ Predicción de consumo eléctrico. ⊙ Distribución de recursos hidráulicos para la producción eléctrica.
	⊙ Control de proceso.





	<ul style="list-style-type: none">⊙ Control calidad.⊙ Control de robots.
Medicina y salud.	<ul style="list-style-type: none">⊙ Ayuda al diagnóstico.⊙ Análisis de imágenes.⊙ Desarrollo de medicamentos.⊙ Distribución de recursos.
Ciencia e ingeniería.	<ul style="list-style-type: none">⊙ Análisis de datos y clasificación.⊙ Ingeniería química.⊙ Ingeniería eléctrica.⊙ Climatología.
Transportes y comunicaciones.	<ul style="list-style-type: none">⊙ Optimización de rutas.⊙ Optimización de recursos.

Fuente: <http://www.Redes-neuronales.tk/>

4.8 APLICACIÓN DE LAS REDES NEURONALES ARTIFICIALES

Existe gran variedad de aplicaciones con relación a las redes neuronales artificiales, y para ello se tomara como ejemplo en este trabajo de investigación, un problema modelado por medio de la asignación cuadrática, realizando la simulación en una red neuronal del tipo de máquina de Boltzmann, obtenida de la tesis diseño y simulación de la red neuronal aplicada al problema de distribución optima en planta¹³

En la aplicación se utilizan n^2 neuronas, donde n representa el número de departamentos a colocar en sitios determinados y semejantes en relación a su tamaño, que en este caso dichos departamentos son almacén y embarque, maquinado, ensamble y por último acabado, siendo n igual a cuatro, considerando que se busca cuál es la distribución departamental óptima de acuerdo con el costo total, se definieron los datos necesarios para el funcionamiento de esta aplicación, se realizaron una matriz de distancia entre sitios, otra matriz de flujo entre departamentos y la matriz de costos de movimientos.

La simulación se efectuó en una computadora un poco atrasada en cuanto a tecnología utilizando un sistema operativo Windows 98, con un procesador Intel Pentium II y 160 MB en Ram, obteniendo un promedio entre resultados de 30 segundos.

En los resultados de 10 corridas de la red, se observa que la distribución óptima es de orden departamental 1 – 3 – 4 – 2, es decir en el sitio 1 corresponde a maquinado, el sitio 3 a embarque, el

¹³ Anexo A. Según Martínez González, C. L. (2002).





sitio 4 se sitúa almacén y embarque, y en el sitio 4 el área de acabado, todo lo anterior con un costo total de 202.

Por otro lado, la mejor opción de 24 soluciones posibles para este ejercicio, que presentó un algoritmo generado de un modelo del problema de asignación cuadrática fue la misma, es decir, el resultado es una ordenación departamental en forma 1 – 3 – 4 – 2, con un costo total de 202 para su aplicación.

Al realizar una comparación entre los dos tipos de resultados obtenidos, correspondientes a las alternativas de solución aplicadas anteriormente, podemos darnos cuenta que la red neuronal artificial cuenta con un 60 % de las mejores distribuciones departamentales, incluida la solución óptima, por ello para tener un panorama más amplio y asimismo una mejor comprensión de este ejemplo se recomienda ver el anexo A.

En el ejemplo anteriormente expuesto se manifiesta que si usamos una tecnología más avanzada, los resultados serán cada vez mejores y rápidos, puesto que la computadora a utilizar en este tipo de aplicaciones es de gran importancia.

Si tomamos en cuenta que aparecerán computadoras con capacidades computacionales muy superiores a las disponibles en el mercado hoy en día, con característica sobresalientes, cuyo diseño corresponde a aplicaciones específicas. Por ejemplo, la noticia del 26 de junio del 2000 acerca de la obtención del mapa de 97% del genoma humano y la secuencia exacta de 85% de las bases del ADN, gracias al procesamiento de una computadora. Si a todo lo mencionado agregamos que se fabrican supercomputadoras que permiten obtener en minutos o en años lo que con equipos convencionales se lograría en décadas. Por tanto, asegurar que las redes neuronales artificiales son un método de solución excelente al problema de distribución en planta y a su vez obtener un número aceptable de alternativas y por ende un panorama más amplio para dar solución a nuestro problema de distribución en planta.





CONCLUSIONES

La distribución en planta es una problemática que afecta a muchas empresas, es un factor importante para obtener un desempeño adecuado en el área de trabajo, ya que influye en los costos en la distribución de los materiales en los procesos a realizar y por su puesto en la reducción de actividades innecesarias.

Como puede apreciarse el problema de la distribución en planta no solo afecta al sector industrial, existen varios sitios donde debe usarse el espacio existente al máximo como lo es en las escuelas, hospitales, bancos, centros deportivos, tiendas departamentales, auditorios, casas habitación por mencionar algunos, ya que, en todos los lugares es necesaria una buena distribución entre sus departamentos.

El ingeniero industrial de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo cuenta con una formación en ciencias básicas y herramientas propias de la ingeniería, las cuales nos ayudaran en un futuro próximo en la resolución del problema de distribución en planta que pueda presentar alguna empresa puede recorrer una compañía que no haya aplicado una buena distribución en sus instalaciones y señalar a la gerencia una lista de cosas obvias en las cuales necesite mejorar.

En este trabajo se exponen diferentes arreglos de distribución como lo es la posición fija, en proceso, producto y celular, las cuales ayudan a obtener los objetivos de la empresa y por ende dar respuesta los diferentes síntomas y necesidades que se presentan por falta de una distribución adecuada. Tomando en cuenta que no existe una distribución optima, pero si podemos ejecutar la mejor opción que de solución a nuestro problema de distribución.





La investigación realizada permite aclarar que hoy en día no se puede diseñar una distribución en planta en forma automática, este proceso de diseño como se ha podido apreciar es algo muy complejo y exige integrar una gran cantidad de información, para lo cual, es indispensable contar con experiencia y buen juicio, ya que existen varios métodos, algoritmos, simulaciones y softwares, que ayudan a encontrar la solución a nuestras necesidades, por ello es importante y de gran relevancia la toma de decisiones para elegir el mas adecuado.

Los programas actualmente disponibles y de los que han de ir apareciendo en un futuro inmediato como lo es el caso de las redes neuronales artificiales, son una herramienta que será cada ves mas comunes y utilizados en la resolución del problema de distribución en planta.

Este trabajo permite dar a conocer a las redes neuronales artificiales. Si tomamos en cuenta que en estos días ser bueno en el mercado no basta, hay que ser los mejores en el sector en que nos encontremos, será de gran ayuda la utilización de esta herramienta, ya que es una de muchas alternativas para la resolución del problema de distribución en planta, enfocándose principalmente a dar solución a los problemas planteados de la asignación cuadrática, una de las ventajas por las cuales se siguiere la utilización de las redes neuronales artificiales, es la reducción del tiempo para encontrar la solución optima en el problema de distribución en planta, ya que el cambio en los mercados se da a una velocidad vertiginosa, que prácticamente se requiere al cambio de las necesidades de los clientes. Y que los cambios llevan a la necesidad de nuevos productos o a la modificación de este, por lo que para las empresas un cambio de estos puede ser la resultante de una nueva distribución en planta.



BIBLIOGRAFÍA

DOCUMENTOS IMPRESOS

Armour, G. C. & Buffa, E. S. (1993). *A heuristic algorithm and simulation approach to relative allocation of facilities*.

Barnes, M.,R. (1980). *Motion and time study*. (7ma ed.) New York.

Coromias, A. (1991). *Localización, distribución en planta y manutención*. España: Marcombo.

Dominguez, A., Álvarez, J., Garcia, S., Dominguez, A., & Ruiz, A. (1995). *Dirección de operaciones, aspectos estratégicos en la producción y los servicios*. España: Mc Graw Hill.

Ferré Masip, R.(1988). *La fabrica flexible*. España: Marcombo.

Garnica, G. J. (2000). *Guía para la mejora de la funcionalidad de la distribución en planta de la micro y pequeña empresa*. México: UNAM

Garnica, J., Niccolas, H., & Sánchez, G. (2000) *Guía para mejorar la funcionalidad de la distribución en planta de la micro y pequeña empresa. III Seminario Internacional de Ingeniería en Sistemas*. Ixtapa Zihuatanejo, México.

Gauriel, S. (1991). *Ingeniería industrial*. México: Limusa. Vol 1.

Immer, J. (1979) *Distribución de planta*. México: INSOTEC.

Konz, S. (1993). *Diseño de instalaciones industriales*. México: Limusa.

Lara Cervantes, D. (2005). Supercomputadoras para vivir mejor. *Ciencia y desarrollo*, 182, 14-19.





- Ledo, J. M. (1990). *Construcción de locales industriales*. (15va ed.) España: CEAC, S. A.
- Martínez González, C. L. (2002). *Diseño y simulación de una red neuronal aplicada al problema de distribución óptima en planta*. Tesis de maestría para obtener el título de maestro en ciencias con especialidad en ingeniería, Escuela superior de ingeniería mecánica y eléctrica, Instituto Politécnico Nacional en sistemas. México, D. F.
- Matthew, P. S. (2006). *Diseño de instalaciones de manufactura y manejo de materiales*. (3ra ed.) Columbus, Ohio: Prentice Hall, Inc.
- Maynard, H. (2001). *Manual del ingeniero industrial*. (4ta ed.) México: Mc Graw Hill. Vol 1 y 2.
- Moore, J. (1986). *Plant layout and desing*, Macmillan, New York.
- Muther, R. (1986). *Plant layout and design*. New York: Mc. Graw Hill Book.
- Nahmias, S. (1999). *Análisis de la producción las operaciones*. México: CECSA.
- Niebel, B. (1996). *Ingeniería industrial, métodos, tiempos y movimientos*. (9na ed.) Colombia: Alfaomega.
- Organización Internacional del Trabajo, OIT. (2000). *Introducción al estudio del trabajo*. (4ta ed.) México: Limusa.
- Philip, E. H. (2002). *Ingeniería industrial y administración, una nueva perspectiva*. (2da ed.) México: Continental.
- Rosales, P. E. & Robert C. (2002). *Manual del ingeniero de planta*. (2da ed.) México: Mc Graw Hill.
- Ruddell Reed, Jr. (1979). *Localización layout y mantenimiento de la planta*. (3ra ed.) Buenos Aires, Argentina: El atenco.
- Salvendy, G. (1991) *Hanbook of industrial engineering*. New York: John Wiley & sons, inc.
- Thopkins, A., White, A., Bozer, A., & Tanchoco, A. (2003). *Facilities Planning*. (3ra ed.) United States Of America: John Wiley & sons, inc.





- Trinidad, O. A. & Eslava T. M. (2005). *Desarrollo de una técnica heurística para el mejoramiento de la distribución en planta de los talleres de hojalatería y pintura automotriz*. Tesis para obtener el título de Ingeniero Industrial, UAEH. Hidalgo, México.
- Vallhonrat, J. M. (1991). *Localización, distribución en planta y mantenimiento*. España: Marcombo.
- Vaughn, R. C. (1993) *Introducción a la ingeniería industrial*. (2da ed.) Barcelona: REVERTÉ S. A.
- Velásquez M. (1992) *Administración de los sistemas de producción*. (3ra ed.) México: Limusa.

DOCUMENTOS ELECTRÓNICOS

- Abdul-Rahim, Ahmad.(2005) *An Intelligent Expert System for Decision Analysis and Support In Multi-Attribute Layout Optimization* Tesis Universidad de Waterloo. Versión electrónica.
[En línea] Disponible en: <http://etd.uwaterloo.ca/etd/arahim2005.pdf> [Julio 2006]
- Aleisa, E. & Lin, L. *For Effective Facilities Planning: Layout Optimization Then Simulation, Or Vice Versa?*. [En línea] Disponible en: www.informs-sim.org/wsc05papers/169.pdf
[Mayo 2006]
- An Intelligent Decision Support System for Layout Design*. [En línea]
Disponible en: pami.uwaterloo.ca/pub/rahim/IL-DSS-APDSI-2004.PDF [Agosto 2006]
- Artículos de redes neuronales* [En línea]
Disponible en: <http://ingenieria.udea.edu.co/investigacion/mecatronica/mectronics/redes.htm>
[Septiembre 2006]
- Benota, F. (2005). *Entrenamiento de redes neuronales basado en algoritmos evolutivos*. Facultad de Ingeniería Universidad de Buenos Aires Tesis de grado en Ingeniería Informática. Versión electrónica. [En línea] Disponible en:
<http://www.itba.edu.ar/capis/webcapis/RGMITBA/tesistas/bertona-tesisingenieriainformatica.pdf> [Septiembre 2006]





Caballero Fernández R., Molina Luque J., Luque Gallego L., Torrico González A. & Gómez T. *Algoritmos genéticos para la resolución de problemas de Programación por Metas Entera. Aplicación a la Economía de la Educación.* [En línea]

Disponible en: <http://www.uv.es/asepuma/X/J01C.pdf> [Julio 2006]

Características principales de las redes neuronales. [En línea]

Disponible en: <http://ohm.utp.edu.co/neuronales/main1.htm> [Septiembre 2006]

Carson, Y. & Anu, M. *Simulation Optimization: Methods And Applications* [En línea]

Disponible en: <http://www.informs-cs.org/wsc97papers/0118.PDF> [Mayo 2006]

Centroides [En línea]

Disponible en: <http://www.ing.ula.ve/~rubio/centroide01.htm> [Septiembre 2006]

Chair, D. *Research To Application Success Stories: Manufacturing* [en línea]

Disponible en: <http://www.informs-sim.org/wsc97papers/1286.PDF> [Mayo 2006]

Chandramouli, S. *LayOPT Crashing Hints*

[En línea] Disponible en: http://www.ie.metu.edu.tr/~ie425/LayOPT_Crashing_hints.pdf

[Mayo 2006]

Computer aided layout. [En línea] Disponible en:

http://www2.isye.gatech.edu/~mgoetsch/cali/logistics_systems_design/computer_aided_layout/computer_aided_layout.pdf [Julio 2006]

Department Of Industrial Engineering. *IE 425 – Plant Location And Layout LayOPT Demo.* (2006)

[En línea] Disponible en: http://www.ie.metu.edu.tr/~ie425/LayOPT_Handout_06.pdf

[Marzo 2006]

Dupont, L.,. *Conception de systèmes industriels.* [En línea]

Disponible en: http://ort.ec-lille.fr/mhosi05/vip_presentaion/Dupont.pdf [Mayo 2006]





- Edward, J., Callan & Curtis R. *An expert system for power supply layout* [En línea] Disponible en: <http://www.cs.cmu.edu/~callan/Papers/DeJesus-DAC86.pdf#search=%22expert%20system%20and%20layout%22> [Agosto 2006]
- Esposito F., Malerba D. & Semeraro G. *A Knowledge-Based Approach to the Layout Analysis*. [En línea] Disponible en: <http://www.di.uniba.it/~malerba/publications/icdar95.pdf#search=%22knowledge%20based%20system%20and%20layout%22> [Agosto 2006]
- Facility Layout*. [En línea] Disponible en: <http://www.wiso.uni-koeln.de/scmms/lectures/WS05/SCS/DS08FacilityLayout060119.pdf> [Julio 2006]
- Goetschalckx, M. (1998). *Unifying Data Framework for Facilities Design*. [En línea] Disponible en: <http://www2.isye.gatech.edu/~mgoetsch/cali/Data%20Framework%20for%20Facilities%20Design/index.htm> [Mayo 2006]
- Grajo, E. & Bozer, A. *LayOPT: A Data Driven Facilities Layout Optimization System for Engineers* [En línea] Disponible en: <http://www.pmc corp.com/PublishedPapers/Simulation%20Publications/Sim-Methodology/LayOPTADataDrivenFacilities.pdf> [Abril 2006]
- Gutierrez, R. S. & Kannambadi, N. *Facilities Design Analysis Using Production Flow Analysis and oint-of-Use Storage Systems*. [En línea] Disponible en: <http://www.simlogisticslab.utep.edu/paper/paper3.pdf> [Mayo 2006]
- Herrera López, E., Leal, R. & Gschaedler, A. *Estimación de las concentraciones de biomasa y el pigmento astaxantina, mediante redes neuronales artificiales*. [En línea] Disponible en: <http://iteso.mx/~rleal/archivos/cie97.pdl> [Septiembre 2006]
- Hospitaler A. & Montalvá J.M. *Algoritmo híbrido basado en colonias de hormigas para la solución del problema de la distribución en planta en el marco del S.L.P.* [En línea] Disponible en: http://www.aepro.com/congreso_03/pdf/pjaen@upvnet.upv.es_9fef02543797cedf63f154289968b52.pdf [Julio 2006]





IELM [En línea] Disponible en: <http://teaching.ust.hk/~ielm320/> [Mayo 2006]

Introducción a las Redes Neuronales. [En línea]

Disponible en: <http://iteso.mx/~rleal/archivos/cie97.pdf> [Septiembre 2006]

Introducción a las Redes Neuronales. [En línea]

Disponible en: <http://www.redes-neuronales.tk/> [Junio 2006]

Introducción Conceptos: Redes Neuronales. [En línea] Disponible en:

http://html.rincondelvago.com/redes-neuronales_1.html [Septiembre 2006]

Introduction to Facility Planning [En línea]

Disponible en: <http://teaching.ust.hk/~ielm320/note01.pdf> [Junio 2006]

James P. Gilbert, P. J. (2004). *Construction Office Design with Systematic Layout Planning*

[En línea] Disponible en:

http://www.poms.org/Meeting2004/POMS_CD/Browse%20This%20CD/PAPERS/002-0563.pdf [Julio 2006]

Layout Design and Analysis Software. [En línea] Disponible en:

<http://www.pmcorp.com/PublishedPapers/Simulation%20Publications/Sim-Methodology/LayoutDesignAndAnalysisSoftware.pdf> [Junio 2006]

Maneta, M. & Schnabel, S. *Aplicación de redes neuronales artificiales para determinar la distribución espacial de la humedad del suelo en una pequeña cuenca de drenaje. estudios preliminares.* [En línea] Disponible en:

<http://www.zonanosaturada.com/publics/V6/p295-304.pdf> [Agosto 2006]

Material Handling Systems. [En línea] Disponible en:

http://www2.isye.gatech.edu/~mgoetsch/cali/logistics_systems_design/material_handling_systems/material_handling_systems.pdf [Julio 2006]

Mayorga Ortiz, P. (1998). *Reconocimiento de huellas digitales utilizando las redes neuronales.*

Instituto politécnico nacional, Tesis para obtener el grado en ciencias, Versión electrónica.

[En línea] Disponible en: http://www.citedi.mx/tesis/tesis_16.pdf [Septiembre 2006]





Mehrotra, N., Syal, M. & Hastak, M. *Manufactured Housing Production Layout Design*

[En línea] Disponible en: http://web.ics.purdue.edu/~jjeong/NSF-Project_website_V4/Publications_PDF/J_AE_Manufactured%20Housing%20Production%20Layout%20Design.pdf [Mayo 2006]

Mejora de la gestión empresarial a través del diseño e implementación de Redes Neuronales

[En línea] Disponible en: <http://www.aern.net/cas/> [Septiembre 2006]

Modelado de sistema dinámicos. [En línea] Disponible en:

http://www.tdx.cbuc.es/TESIS_UPC/AVAILABLE/TDX-0726101-162152//07Cap4.PDF
[Julio 2006]

Padrón, A., Pérez, J., Fuentes, R. & Garduño G. *Diagnostico de anomalías en electrocardiogramas por medio de redes neuronales artificiales.* [En línea] Disponible en:

<http://proton.ucting.udg.mx/posgrado/cursos/idc/pdf/idc/55.pdf> [Septiembre 2006]

QAP. *The Quadratic Assignment Procedure William Simpson Harvard Business School*

[En línea] Disponible en: <http://fmwww.bc.edu/RePEc/nasug2001/simpson.pdf> [Julio 2006]

Redes neuronales. [En línea] Disponible en:

<http://www.monografias.com/trabajos12/redneuro/redneuro.shtml#fundam>
[Septiembre 2006]

Redes Neuronales. [En línea] Disponible en: <http://www.redcientifica.com/cgi-bin/buscar/buscar.pl?tipo=temas&clave=&email=&nick=&foro=Inteligencia+Artificial&tema=Redes+Neuronales> [Septiembre 2006]

Red Neuronal Artificial. [En línea]

Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Redes_neuronales [Septiembre 2006]

Red Neuronal Artificial. [En línea]

Disponible en: lorien.die.upm.es/insn/docs/capitulo22-RedesNeuronales.pdf [Agosto 2006]





Redes Neuronales Artificiales, Redes Neurales Artificiales, Artificial Neural Networks.

[En línea] Disponible en: <http://www.gc.ssr.upm.es/inves/neural/ann2/anntutorial.html>

[Junio 2006]

Redes Neuronales o Neurales artificiales . Neural Networks. [En línea]

Disponible en: http://www.answermath.com/redes_neuronales_o_neurales.htm

[Septiembre 2006]

Richard Muther & los Socios [En línea] Disponible en:

www.hpcinc.com/rma.html [Septiembre 2006]

Sotolongo, G.;& Guzmán, Victoria. *Aplicaciones de las redes neuronales. El caso de la Bibliometría.* [En línea] Disponible en:

<http://www.dynamics.unam.edu/DinamicaNoLineal/Articulos/MineriaDatos/Articulo03.pdf>

[Septiembre 2006]

The layout design problem [En línea]

Disponible en: <http://www.geog.ucsb.edu/~forest/G190/LAYOUT1.PDF> [Junio 2006]

Tutelar de RN universidad pedagógica de Pereira facultad de ingeniería electrónica. [En línea]

Disponible en: <http://ohm.utp.edu.co/neuronales/> [Septiembre 2006]

Using Microsoft Excel to conduct optimization. [En línea]

Disponible en: <http://teaching.ust.hk/~ielm320/lab01.pdf> [Junio 2006]

Vij, P. & Sung Na, H. *Strategic Layout Planning And Design For Lean Manufacturing A LayOPT Case Study.* [En línea] Disponible en:

<http://www.pmc corp.com/PublishedPapers/Simulation%20Publications/Sim-Methodology/StrategicLayoutPlanningDesign.pdf> [Abril 2006]



ANEXO A

APLICACIÓN Y RESULTADOS DE LA RED NEURONAL ARTIFICIAL

INTRODUCCIÓN

Se ha planteado resolver el problema de distribución óptima de planta modelado por medio del problema de asignación cuadrático, y realizando la simulación de una red neuronal del tipo máquina de Boltzmann, la simulación se implementa por medio de un programa en lenguaje de programación C. En los siguientes párrafos se ofrece una explicación de dicha simulación y su funcionamiento, así como del problema ejemplo, con sus respectivos resultados. El tipo de red neuronal utilizado es la máquina de Boltzmann, una variante del modelo de Hopfield.

PROGRAMACIÓN DEL SIMULADOR

Se decidió implementar la red por medio de una simulación debido a que es la manera más inmediata y que requiere de recursos mínimos. El simulador de la red se realizó basado en uno existente, el cual está disponible para modificación y distribución gratuita para propósitos comerciales o privados. El código se encuentra en el sitio web de su autor *Kutza*, 1996 [Martínez González, C. L. (2002)].

Para que la salida de la red represente una solución del problema, se utilizan n^2 neuronas, donde n es el número de departamentos a asignar cada uno a un sitio. Se hace una representación en dos dimensiones de las neuronas que forman la red, lo que en la programación es representado con una matriz o un arreglo de dos dimensiones, es decir, cada elemento del arreglo representa una neurona con dos índices.

- El *primer índice* representa el departamento.
- El *segundo índice* representa el número del sitio donde debe colocarse dicho departamento.





Según este arreglo, al llegar a una solución, se obtendría que solamente una neurona (o elemento del arreglo) por cada fila y por cada columna, tendría un valor de 1 (o encendido). En la figura A-1, se muestra una solución válida para un problema de 4 departamentos.

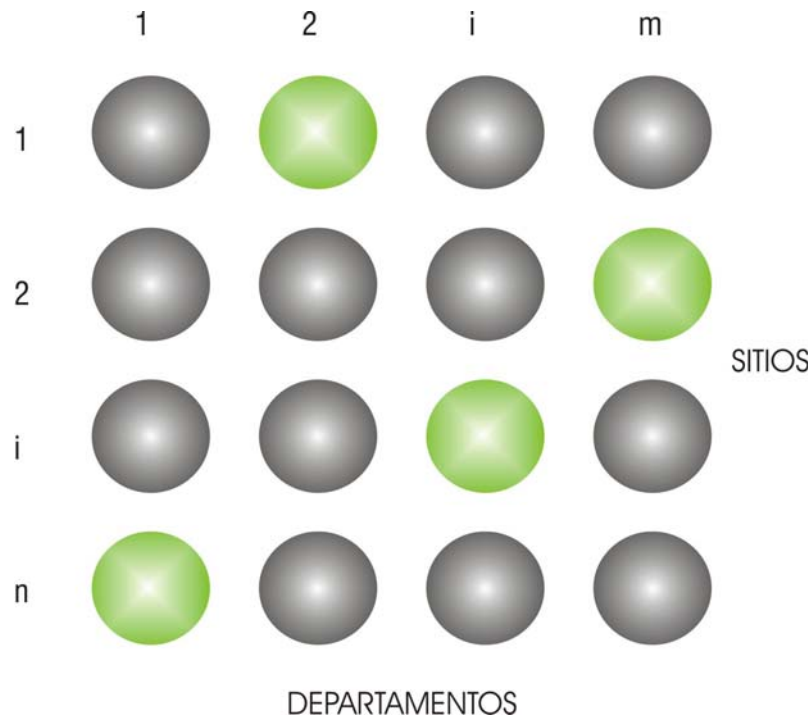


Figura A-1.- Representación de una solución válida para un problema de cuatro departamentos
Fuente: Martínez González, C. L. (2002)

La salida respectiva para esta solución, en forma de matriz sería la siguiente:

$$\begin{matrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{matrix}$$

En este caso, la distribución sería 2 - 4 - 3 -1:

- ➔ **Departamento 1** en Sitio 4
- ➔ **Departamento 2** en Sitio 1
- ➔ **Departamento 3** en Sitio 3
- ➔ **Departamento 4** en Sitio 2

Para obtener las distancias entre los departamentos, puede hacerse de dos maneras: introducir la matriz de distancias directamente o introducir la posición de los mismos, para que el programa calcule las distancias, ya sea rectilínea o euclidiana. En el ejemplo realizado se introducen las distancias directamente.





Los pesos de la red se representan por medio de un arreglo de cuatro dimensiones, esto es, porque dichos pesos se forman de la siguiente manera: W_{ihjk} , es el peso entre el par de neuronas ih (fila i y columna h) y jk (fila j y columna k).

El cálculo de los pesos, como se presentó en el capítulo anterior, se hace de la siguiente manera:

$$W_{ihjk} = -A\delta_{ij}(1 - \delta_{hk}) - B \delta_{hk}(1 - \delta_{ij}) - C - D \delta_{hk} f_{ij} (\delta_{ji+1} + \delta_{ji-1}) \quad \text{y} \quad \Theta_i = -CN$$

Donde: δ_{ij} es la función delta de Kronecker:

$$\delta_{ij} = 1 \quad \text{si } i = j$$

$$\delta_{ij} = 0 \quad \text{de lo contrario} \quad A, B, C, D, \text{ son parámetros de castigo}$$

En la simulación se utilizan las funciones de biblioteca del compilador del lenguaje de programación C, para generar números aleatorios.

El algoritmo a seguir por el programa es el siguiente:

1. *Determinar la matriz de distancias, la matriz de flujos y la matriz de costos de movimiento.*
2. *Calcular los pesos para todos los pares de neuronas.*
3. *Inicializar las salidas de cada neurona de la red con valores aleatorios 0/1.*
4. *Determinar un valor inicial para la temperatura.*
5. *Propagar la red, eligiendo al azar una de las neuronas, y obteniendo su probabilidad, al dividir la suma de los productos de las salidas actuales por los pesos correspondientes y menos los umbrales, entre la temperatura actual, entre todas las neuronas, de acuerdo a:*

$$\text{Probabilidad} = \frac{1}{1 + \exp \left[\sum_{i=0}^n W_{ihjk} S_{ij} - \Theta_i / T \right]}$$

6. *Generar un valor aleatorio x , entre 0 y 1.*





7. Comparar la probabilidad con x :

Si la probabilidad $\geq x$

➔ La salida S_{ij} es 1

De otra manera:

➔ La salida S_{ij} es 0.

$$P_{\text{netai}}(S_i = 0) = \frac{1}{1 + e^{\text{netai}/T}} \dots$$

$$S_j = 1 \quad P_{\text{netai}}(S_j = 1) \geq x$$

$$S_j = 0 \quad P_{\text{netai}}(S_j = 1) < x$$

8. Repetir el paso 6 tantas veces como neuronas tenga la red. Debe aclararse que como la selección de la neurona se hace al azar, algunas neuronas pueden ser elegidas más de una vez, y otras no ser elegidas.

9. Actualizar la temperatura.

10. Decidir si es una solución válida, es decir, verificar que para cada renglón y columna haya solamente una neurona con salida 1.

Si es válida la solución:

➔ Calcular el costo total de la distribución.

➔ Guardar en archivo la distribución encontrada.

De lo contrario:

➔ Repetir desde el paso 5.

El diagrama de flujo correspondiente se presenta en la figura A-2, para tener un mejor panorama de cómo debe hacerse.



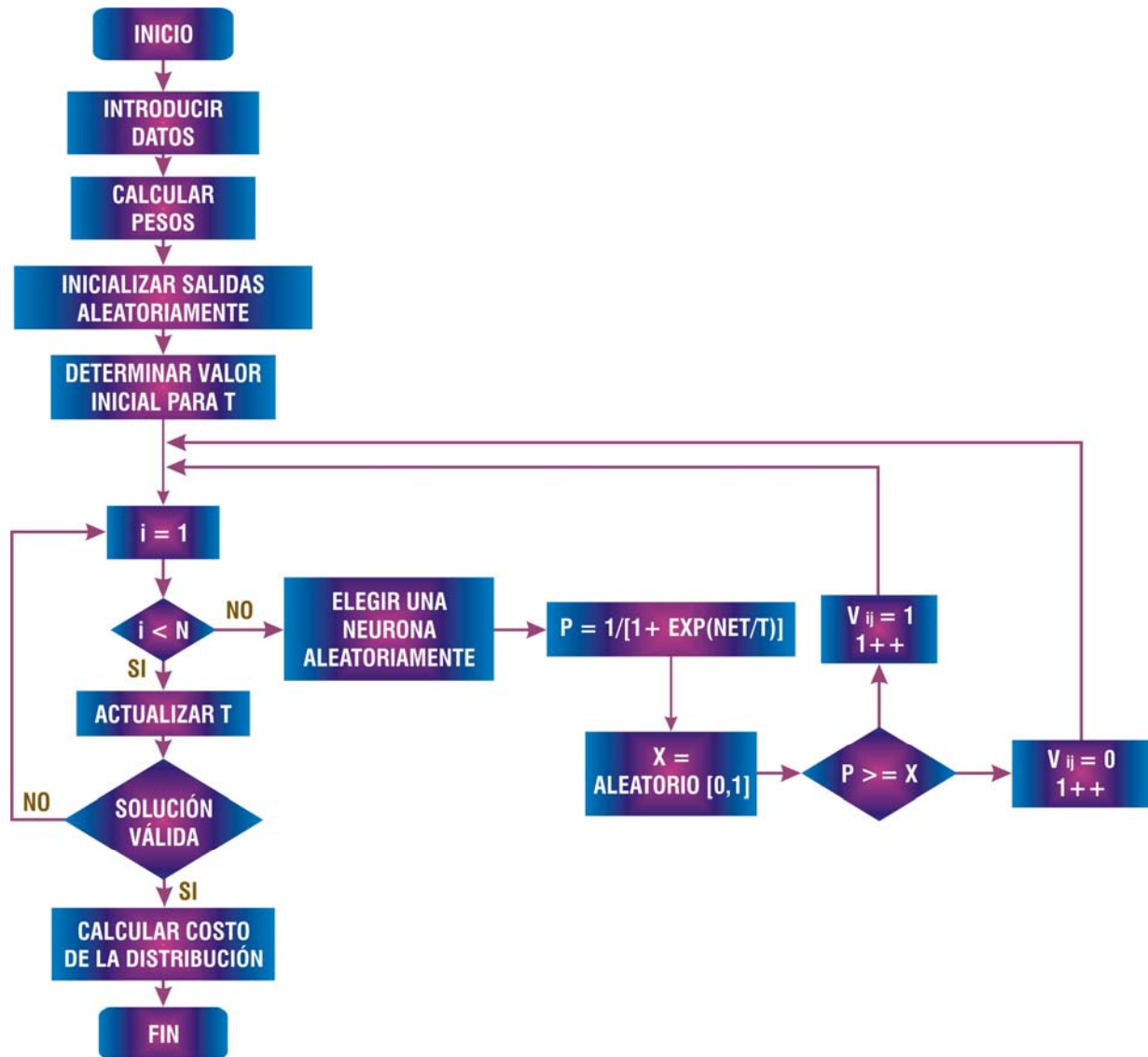


Figura A-2.- Diagrama de flujo del algoritmo del simulador de la Máquina de Boltzmann
 Fuente: Fuente: Martínez González, C. L. (2002)

APLICACIÓN

La aplicación de la simulación de la red se realizó para un problema ejemplo. Según la función objetivo del QAP:

$$\text{Minimizar } Z = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{h=1}^N \sum_{k=1}^N C_{ihjk} X_{ih} X_{jk}$$

$j \neq i \quad k \neq h$





Donde:

$C_{ihjk} = \alpha_{ij} \quad f_{ij} \quad d_{hk}$ = Costo de asignar los departamentos i y j a los sitios h y k respectivamente.

f_{ij} = Flujo de material entre los departamentos i y j .

d_{hk} = Distancia entre los sitios i y j .

α_{ij} = Costo de mover una unidad de material, una unidad de distancia entre los departamentos i y j .

$X_{ik} = 1$ Si el departamento i es asignado al sitio k .

$X_{ik} = 0$ De otra manera deben existir los datos de las distancias d_{hk} , los flujos f_{ij} y los costos de movimiento α_{ij} , para calcular los costos totales para cada par de departamentos, por lo que estos datos se definieron para el problema ejemplo y se presentan a continuación.

DESCRIPCIÓN DEL EJEMPLO

Se considero una distribución de cuatro departamentos, con la cual el simulador ejecutado en una PC común, provee un resultado en un tiempo muy aceptable.

De manera ilustrativa, con el fin de conocer la cantidad de operaciones que deben realizarse si se busca la solución óptima entre todas las posibles soluciones para el QAP, con cuatro departamentos, existen $n!$ posibles soluciones, esto es $4! = 4 \times 3 \times 2 = 24$. Existen, para cada posible combinación 256 términos (n^4), de los cuales 240 ($n^4 - n^2$) resultan 0. En cada uno de los 16 (n^2) términos restantes deben realizarse 2 productos, por lo que en total se realizan 32 productos por cada posible combinación. El total de productos a realizar para todas las posibles combinaciones es de $32 \times 24 = 768$, que deben sumarse para encontrar el costo total. En el caso de $n = 10$ departamentos, el número de productos a realizar es de 725 760 000 productos para todas las posibles combinaciones ($10! = 3\,628\,800$), es decir, 200 productos para cada combinación.

Debido a lo anterior, se recomienda para problemas de número de departamentos mayor a 10 (*si es necesario obtener todas las soluciones posibles para elegir la que minimiza el costo*) el uso de computadoras con mayor capacidad que una PC de uso común, es decir, mayor velocidad y mayor cantidad de memoria, y aún para problemas de mayor tamaño, es absolutamente necesario otro tipo de computadoras, debido a que el número de cálculos incrementa considerablemente, aún si el problema se resuelve con un método que no obtenga una solución óptima, como las redes neuronales.





En el ejemplo realizado para este trabajo, se realiza la distribución de una planta industrial pequeña, que consta de cuatro áreas o departamentos mostrados en la tabla A-1.

Tabla A-1.- Departamentos para el ejemplo

NÚMERO	DEPARTAMENTO
1	MAQUINADO
2	ENSAMBLE
3	ALMACÉN Y EMBARQUE
4	ACABADO

Fuente: Martínez González, C. L. (2002)

Los cuatro sitios disponibles para cada uno de los departamentos son de tamaño igual, en el planteamiento de este problema, no se enfatiza en el tamaño ni la forma de los departamentos, mientras departamentos requieran de un sitio del mismo tamaño. En la figura A-3 se ilustran los cuatro sitios disponibles para la distribución:

Una aclaración importante es la siguiente: la distribución que se obtiene por medio de esta aplicación es una *distribución de bloque*, en la cual no intervienen otros aspectos. Sin embargo, si se requiriera, podría profundizarse en esta distribución de bloque obtenida, para establecer una distribución detallada dentro de cada uno de los cuatro departamentos.

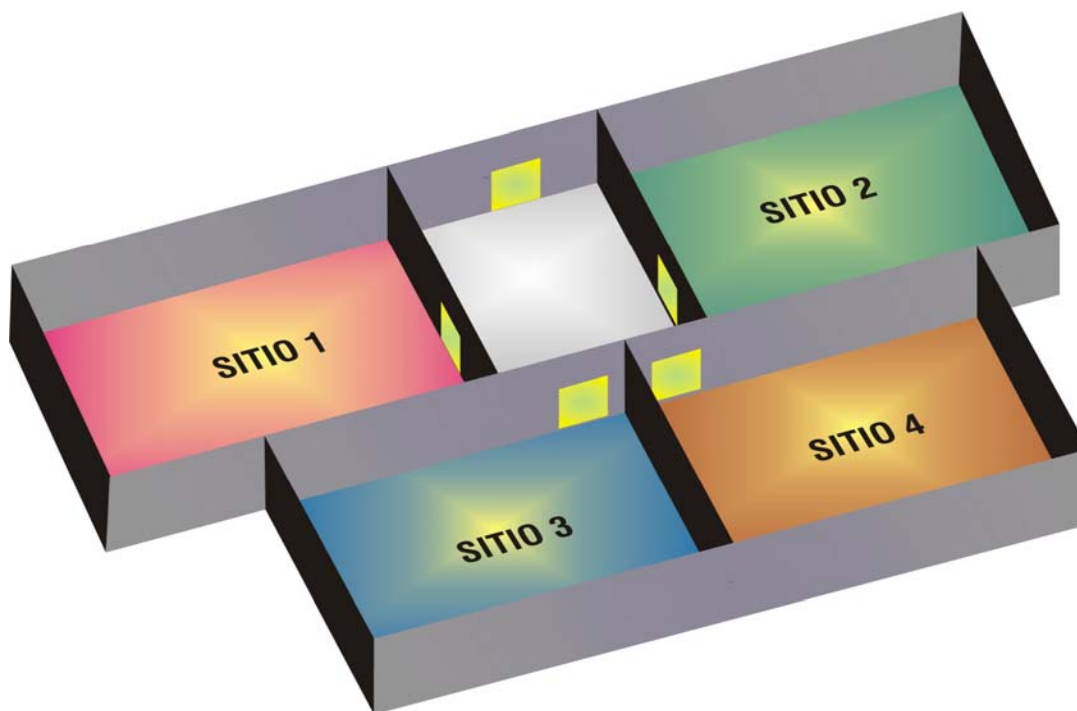


Figura A-3.- Ilustración de los 4 sitios disponibles para la distribución del ejemplo
Fuente: Martínez González, C. L. (2002)





Las consideraciones sobre tipo de producto, de procesos y actividades se deben realizar de manera independiente a esta aplicación, para determinar el tipo de distribución a realizarse y el tipo de flujo de material entre los departamentos. Esta aplicación únicamente indica, de acuerdo a los datos sobre distancias entre sitios, flujos entre departamentos y costos de movimiento, cuál es la distribución de los departamentos más conveniente de acuerdo a su costo total. Una vez aclarado este aspecto, puede procederse a definir los datos necesarios para el funcionamiento de esta aplicación:

Se consideró que:

$$d_{hk} \in , [2,10] \quad h=1, 2, 3, 4 \quad k=1, 2, 3, 4$$

$$f_{ij} \in , [1,3] \quad i=1, 2, 3, 4 \quad j=1, 2, 3, 4$$

$$\alpha_{ij} \in , [1,4]$$

La matriz de distancia para el ejemplo se muestra en la siguiente figura:

		SITIOS			
		1	2	3	4
DEPARTAMENTOS	1	0	6	2	10
	2	6	0	2	6
	3	2	2	0	7
	4	10	6	7	0

Figura A-4.- Matriz de distancia entre sitios (d_{hk}) para el ejemplo
Fuente: Martínez González, C. L. (2002)

Puede verse que las distancias en la diagonal de la matriz son 0, ya que la distancia del departamento i al departamento i es nula.

El flujo entre departamentos es considerado como la circulación de información, materia prima, productos o personal entre dos departamentos, en este caso se consideró simétrico, es decir, que el flujo entre el departamento i y j es el mismo que el de j a i , el flujo entre un departamento y él mismo es nulo.

La matriz de flujos entre departamentos (f_{ij}) para el ejemplo es la mostrada en la figura A-5.





		SITIOS			
		1	2	3	4
DEPARTAMENTOS	1	0	1	2	3
	2	1	0	2	1
	3	2	2	0	2
	4	3	1	2	0

Figura A-5.- Matriz de flujos entre departamentos (f_{hk}) para el ejemplo
Fuente: Martínez González, C. L. (2002)

En la figura A-6 se muestra un gráfico de estos flujos.

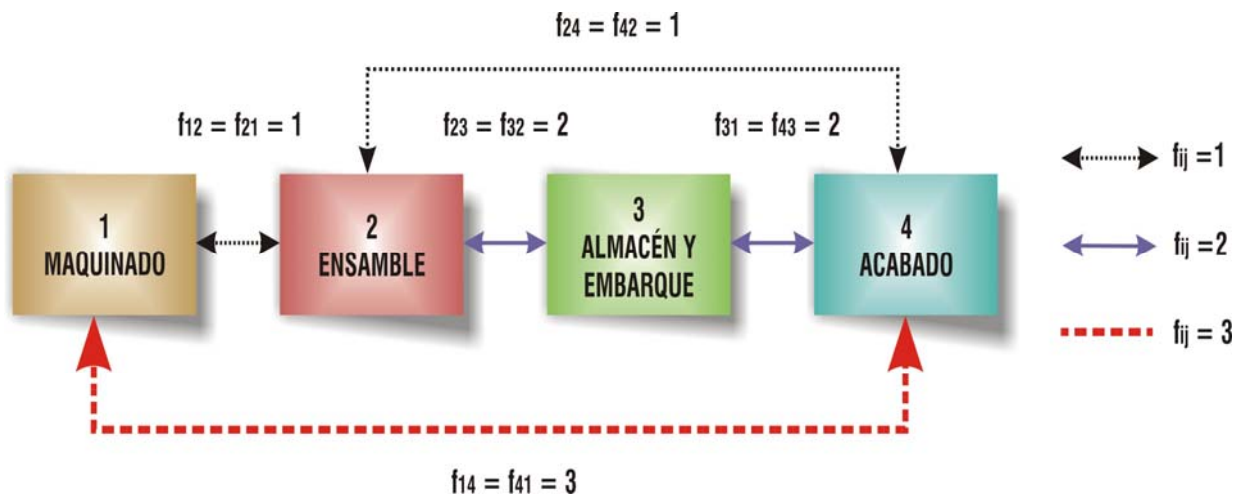


Figura A-6.- Flujos entre los cuatro departamentos (f_{hk}) para el ejemplo
Fuente: Martínez González, C. L. (2002)

El costo de movimiento entre departamentos ∞_{ij} representa el costo de mover un elemento entre departamentos. Por ejemplo, la circulación de información, con el cual el costo sería menor que el transportar materia prima o producto terminado, o que el costo de desplazamiento de personal, de ahí la importancia de este factor.

El costo de movimiento entre un departamento y él mismo es nulo. La matriz de costos de movimiento para el ejemplo es la mostrada en la figura A-7.

		SITIOS			
		1	2	3	4
DEPARTAMENTOS	1	0	2	1	4
	2	4	0	1	2
	3	1	2	0	3
	4	1	2	3	0

Figura A-7.- Matriz de costos de movimiento entre departamentos (∞_{ij}) para el ejemplo
Fuente: Martínez González, C. L. (2002)





SIMULACIÓN

La simulación se realizó en una PC con sistema operativo Windows 98, con procesador Intel Pentium II con 160 MB en RAM. El tiempo promedio en que se obtuvo un resultado fue de 30 segundos. Los valores asignados a los parámetros A, B, C y D (constantes de castigo) y de la temperatura inicial t_0 , en todas las ejecuciones, fueron las que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla A-2.- Valores de los parámetros utilizados para el ejemplo

VALORES	
A	0.1
B	0.1
C	1
D	0.5
t_0	100

Fuente: Martínez González, C. L. (2002)

La forma de actualizar la temperatura utilizada es la siguiente: $T_{k+1} = 0.99 T_k$

Se ejecutó el simulador un total de 12 veces, en las cuales se inicializó la red con distintos valores de salida aleatorios. Del total, 2 pares de ejecuciones presentaron el mismo resultado, es decir, se obtuvieron 10 soluciones distintas.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos, de 10 de las corridas que presentaron resultados distintos, ordenados según el costo de la distribución obtenida, se muestran en la tabla A-3.

Tabla A-3.- Resultados obtenidos en 10 ejecuciones del problema

CORRIDA	DISTRIBUCIÓN OBTENIDA	COSTO TOTAL
1	1 - 3 - 4 - 2	202
2	4 - 3 - 1 - 2	226
3	3 - 4 - 1 - 2	236
4	4 - 1 - 3 - 2	240
5	2 - 1 - 4 - 3	242
6	1 - 4 - 3 - 2	248
7	2 - 3 - 4 - 1	257
8	3 - 4 - 2 - 1	264
9	4 - 2 - 3 - 1	274
10	3 - 2 - 1 - 4	305

Fuente: Martínez González, C. L. (2002)





Es importante señalar que la red no siempre converge, debido a que valores para algunos parámetros como los de castigo o la inicialización aleatoria de las salidas de la red debe encontrarse en cierto rango, que se determinó experimentalmente.

Por otro lado, las $n!=24$ soluciones para el problema, ordenadas del menor a mayor costo, obtenidas por medio de un algoritmo que se generó del modelo del QAP para efectos de comparación se muestran en la siguiente tabla:

Tabla A-4.- Las 24 soluciones explícitas para el ejemplo

COMBINACIÓN	DISTRIBUCIÓN	COSTO TOTAL
1	1 - 3 - 4 - 2	202
2	3 - 1 - 4 - 2	202
3	2 - 4 - 1 - 3	226
4	4 - 3 - 1 - 2	226
5	1 - 2 - 4 - 3	234
6	3 - 4 - 1 - 2	236
7	2 - 4 - 3 - 1	238
8	4 - 1 - 3 - 2	240
9	2 - 1 - 4 - 3	242
10	1 - 4 - 3 - 2	248
11	4 - 2 - 1 - 3	249
12	3 - 2 - 4 - 1	250
13	2 - 3 - 4 - 1	257
14	1 - 4 - 2 - 3	264
15	3 - 4 - 2 - 1	264
16	2 - 1 - 3 - 4	270
17	2 - 3 - 1 - 4	273
18	4 - 2 - 3 - 1	274
19	3 - 1 - 2 - 4	286
20	4 - 1 - 2 - 3	296
21	1 - 3 - 2 - 4	298
22	3 - 2 - 1 - 4	305
23	4 - 3 - 2 - 1	308
24	1 - 2 - 3 - 4	314

Fuente: Martínez González, C. L. (2002)

Considerando que, la distribución con menor costo de las 24 posibles es la 1 - 3 - 4 - 2 con costo 202, y la de mayor costo es la 1 - 2 - 3 - 4 con costo 314 (según la tabla A-4) puede observarse que de las 10 distribuciones distintas obtenidas con la red, el 60% se encuentra dentro de las 10 mejores distribuciones posibles, incluyendo la distribución óptima.





En la figura A-8 se grafican y por lo tanto se hace una comparación de las soluciones explícitas y las soluciones obtenidas por la RNA, con lo cual ganaremos un panorama más amplio acerca de las soluciones obtenidas en las dos tablas anteriores (tabla A-3 y A-4):

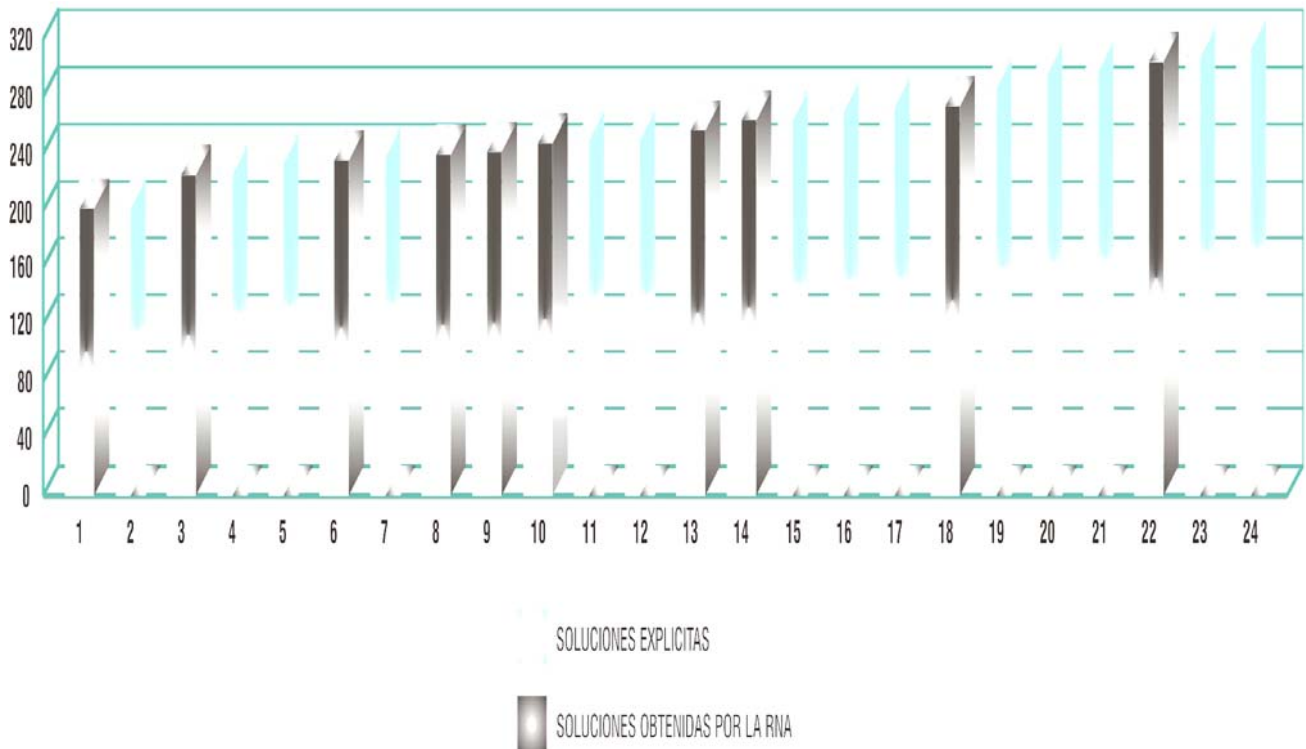


Figura A-8.- Soluciones obtenidas por medio de la simulación de la RNA contra las soluciones explícitas
Fuente: Martínez González, C. L. (2002)

Como el procedimiento de la utilización de la red neuronal para resolver el problema indica que se debe elegir la mejor solución de todas las obtenidas en la tabla A-3, siendo ésta con la ordenación 1 - 3 - 4 - 2, es decir: (ver figura A-9):

- ➔ **Departamento 1** (Maquinado) en el Sitio 1
- ➔ **Departamento 2** (Ensamble) en el Sitio 3
- ➔ **Departamento 3** (Almacén y Embarque) en Sitio 4
- ➔ **Departamento 4** (Acabado) en Sitio 2

El costo total de esta distribución es 202, y precisamente, coincide con una de las dos mejores soluciones explícitas (obtenidas por el algoritmo diseñado para calcular todas las posibles soluciones), es decir, que en este ejemplo, la red ha obtenido la distribución óptima.





Figura A-9.- Mejor distribución obtenida por la simulación de la RNA
Fuente: Martínez González, C. L. (2002)

Podemos observar que la red neuronal ha tenido un desempeño que se encuentra dentro del rango esperado, es decir, ha encontrado soluciones en todas las ejecuciones realizadas y la mayoría de ellas han sido de las mejores soluciones. Sin embargo, es posible que para problemas con tamaño mayor (y por consecuencia, con mayor número de soluciones) la red no necesariamente obtenga una de las distribuciones óptimas que usualmente son más de una, con el mismo costo, la ventaja, sin embargo, es que no se requeriría resolver el problema para encontrar todas las soluciones, que representaría una inversión en tiempo considerable y sí se encontraría un grupo de soluciones de las que se podría elegir la de menor costo.

Las redes neuronales pueden utilizarse como herramienta para resolver problemas de optimización matemática combinatorios como el problema presentado aquí, obteniendo resultados aceptables, que se acercan al óptimo, la base principal es encontrar la manera de representar una solución del problema con las salidas de la red neuronal.



ANEXO B

CONSIDERACIONES ADICIONALES DE LA DISTRIBUCIÓN EN PLANTA

ALMACENES

En muchas ocasiones la estructura de un almacén es particularmente sencilla, ya que los movimientos se producen sólo entre las puertas o muelles de carga y descarga y los emplazamientos de los materiales. Más desde luego no siempre ocurre así; si hay muchos pedidos de unas pocas unidades del mismo producto o si los pedidos comprenden una variedad de productos resultaría costosísimo realizar para cada unidad o conjunto de unidades idénticas, de las que componen el pedido un desplazamiento de ida y vuelta, para evitar esto hay diversas soluciones como por ejemplo, establecer para cada pedido una ruta o agregar las unidades idénticas de diversos pedidos para formar lotes de recogida, si el almacén es grande puede establecerse una división en zonas y asignar a cada una de ellas un operario o un dispositivo automático de recogida. En el enfoque de recogida por lotes el almacén ha de comprender una zona más o menos extensa para el "montaje" de los pedidos.

En lo relativo a la asignación de espacio a los diversos productos, una solución clásica consiste en asignar una zona fija a cada uno de ellos, este enfoque da lugar a una distribución rígida que puede causar un cierto desaprovechamiento del espacio, su ventaja más evidente es la facilidad para localizar los productos. Actualmente, las tecnologías disponibles para el tratamiento de la información permiten una localización dispersa y dinámica del espacio, cuando se ha de satisfacer un pedido, las unidades no se buscan directamente en el almacén sino en el archivo informático que lo representa; en la computadora no sólo puede emitir una nota con la localización del producto que se desea sino que puede además determinar las rutas cuando se trata de diversos pedidos o de pedidos que constan de varias unidades.





OFICINAS

La distribución de las oficinas presenta problemas muy específicos a los que se ha dado soluciones muy dispares, según el tipo de actividad, la estructura de la organización, las opiniones no siempre unánimemente compartidas, de los responsables de la distribución y, por lo menos algunas veces según la moda imperante, la distribución en planta de una oficina ha de alcanzar el equilibrio adecuado a las funciones de que se trate, entre los objetivos de comunicación y control por una parte, e intimidad o aislamiento por otra, para ciertos trabajos la posibilidad de comunicarse rápidamente con otras personas de la oficina es muy importante, pero para otros es sobre poder concentrarse sin perturbaciones acústicas o visuales, o tener la posibilidad de mantener conversaciones confidenciales con las visitas, aislar visual y acústicamente los puestos de trabajo es rígido y caro puesto que se consume más espacio y más materiales como tabiques, aislantes, puertas, etc., y hace más difícil el control, en las que se puede denominar distribuciones en planta tradicionales, el equilibrio entre los objetivos contrapuestos se alcanza mediante puestos de trabajo aislados para ciertos empleados y áreas abiertas para otros.

Una alternativa más moderna es la oficina abierta, que alberga en una misma área, sin particiones a todos los empleados, incluyendo a los directivos; lo que se llama oficina-paisaje es una variante que matiza esta idea básica: se consigue un cierto aislamiento entre los diversos puestos de trabajo mediante mamparas, plantas de interior, etc. Desde luego, hay que cuidar especialmente las condiciones acústicas del local lo que puede exigir el uso de algunos materiales especiales, pero aún así estas distribuciones resultan mucho más baratas que las tradicionales y por supuesto mucho más flexibles. Cada puesto de trabajo debe estar equipado de forma adecuada para las funciones que tiene asignadas (teléfono, computadora, etc.).

Tradicionalmente el equipo de un puesto de trabajo administrativo tenía un bajo costo, pero actualmente la inversión aunque no alcanza en general con respecto a un puesto de trabajo industrial puede ser considerable; por otra parte la utilización de los equipos suele ser baja. De estas consideraciones surge un concepto, el de centro de actividad, que da lugar a un nuevo enfoque de las distribuciones en planta de oficinas, del cual son escasas hasta ahora las realizaciones prácticas, se trata de crear áreas con funciones específicas, reuniones, recepción de visitas, fotocopias de hecho, existen desde hace tiempo en muchas oficinas secciones de fotocopias: a causa del costo elevado de los aparatos no resulta rentable asignarlos a los puestos de trabajo), terminales, etc. Los empleados disponen de un puesto base propio, pequeño u poco equipada, y se desplazan de unos a otros centros de actividad a medida que su trabajo se lo exige, algunos inconvenientes de este tipo de solución parecen evidentes, pero la utilización de los equipos será más alta y por consiguiente la inversión más





reducida.

Finalmente, conviene no olvidar que el desarrollo de la informática y de las telecomunicaciones ofrece posibilidades insospechadas para resolver problemas organizativos tradicionales como las reuniones a través de una red informática, transmisión de documentos a gran velocidad y bajo costo, posibilidad de trabajar en el domicilio particular con una computadora, pero la exploración a fondo de las consecuencias que pueden deducirse a partir de esta observación conduciría a este texto lejos de sus objetivos principales.

SERVICIOS

Ya se ha dicho que los servicios son un sector muy heterogéneo sobre el cual es muy difícil realizar afirmaciones que tengan validez general, en muchas ocasiones la circulación de materiales apenas existe o tiene poca importancia, no siempre desde luego; un ejemplo sería en la gestión de una cadena de hamburgueserías que implica un importante flujo de materiales, desde el aprovisionamiento, probablemente centralizado, y la elaboración hasta el consumidor o en la manipulación de equipajes y mercancías en un aeropuerto. Cuando no hay circulación de materiales en un servicio, suele haber circulación de personas como lo es en servicios médicos, restaurantes de autoservicio, oficinas bancarias, etc. Sean materiales, personas u otros, lo cierto es que el estudio de los flujos tiene una gran importancia para un adecuado planteamiento del servicio, una vez dicho esto es obvio, pero también es evidente que en muchos servicios este estudio no se ha llevado jamás a cabo y ello repercute en un funcionamiento muy deficiente. La distribución en planta ha de ser confortable para sus usuarios y en muchos casos ha de garantizar la intimidad o privacidad, si se admite este anglicismo en las actividades que tienen lugar en la instalación, por supuesto ha de satisfacer también exigencias estéticas que serían distintas y más débiles si el usuario no tuviera que estar presente, la peculiaridad de los servicios no es obstáculo para que se les puedan aplicar muchas veces las técnicas características de la organización industrial, que han surgido y se han desarrollado principalmente en el seno del sector secundario, pero cuya aplicación al terciario es fructífera como se ha podido demostrar repetidamente.

La idea de aplicar la organización industrial a los servicios puede parecer bastante nueva, de hecho las publicaciones que la desarrollan sólo son relativamente numerosas desde hace poco más de quince años, pero en realidad se remonta por lo menos a las primeras décadas de este siglo, el mismo Henry Ford advirtió las ventajas que podían derivarse de la aplicación del enfoque industrial a la gestión de hospitales y Frank B. Gilbreth dedicó considerable atención al estudio de actividades médicas, tales como las operaciones quirúrgicas, aunque el concepto tardó en abrirse paso, actualmente no es





concebible la gestión de cualquier aspecto de una actividad terciaria importante, desde la gestión de servicios de emergencia hasta la organización de unos juegos olímpicos.

Al estudiar la distribución en planta de un servicio es útil pensar en sus analogías con sistemas industriales, con el fin de aplicar los conceptos que en éstos han demostrado sobradamente su eficacia, en ciertos servicios será apropiada una distribución en planta orientada al proceso servicios médicos por ejemplo, en otros lo mejor será una orientación al producto, como en el ya mencionado caso del restaurante en autoservicio, verdadera cadena de montaje, en que el producto es el almuerzo o cena, a cuya producción contribuyen los empleados del restaurante y el propio usuario.

También en los servicios es útil el análisis P-Q, ello permite clasificar los productos y establecer distribuciones en planta adecuadas para cada grupo. Por ejemplo, en un hospital como se ha dicho, la distribución típica es por proceso, pero puede haber servicios homogéneos y con mucha demanda que admitan o aconsejen una distribución orientada al producto, es bastante conocido, puesto que incluso ha aparecido en la prensa, el ejemplo de las operaciones oculares en cadena: en una de las instalaciones en funcionamiento (las hay en la URSS y en Cuba), las camillas con los pacientes se desplazan sobre unos raíles y pasan sucesivamente por cinco estaciones de trabajo atendidas por otros tantos cirujanos, supervisados por un especialista a través de un circuito cerrado de televisión; una operación de miopía tiene una duración aproximada de quince minutos. Es una aplicación del taylorismo y el fordismo curiosa por más de un motivo y desde luego muy útil.

Un concepto ya específico de los servicios es el de núcleo técnico, en todo servicio hay actividades que se desarrollan en contacto con el cliente y otras que se llevan a cabo sin su presencia. En las primeras la flexibilidad, la amabilidad en el trato, tienen la máxima importancia y son difíciles de programar puesto que la demanda es heterogénea en su contenido y se presenta irregularmente. Las actividades que se efectúan sin contacto con el cliente pueden ser asignadas al núcleo técnico, que conviene organizar como una planta industrial de mayor o menor envergadura dentro del servicio, por ejemplos: manipulación de equipajes en aeropuertos, lavado de ropa, toallas, sábanas, en un hotel.

Finalmente, un aspecto muy característico de los servicios que tiene una fuerte incidencia en la distribución en planta son las colas, por supuesto las colas no son privativas de los servicios, las hay en todas partes y por supuesto en la industria, donde todo stock de materias primas, de materiales en curso o de productos acabados es una cola de objetos que esperan turno para salir del almacén o para ser procesados por una máquina, pero en los servicios las colas suelen tener aún mayor importancia por diversos motivos, por una parte la demanda presenta estacionalidad y es heterogénea, puesto que el





servicio que demanda un cliente puede ser distinto del que otro necesita y por consiguiente el tiempo para prestado será también distinto.

En general los servicios son intangibles y por consiguiente no almacenables por lo que el acoplamiento entre producción y demanda no puede hacerse a través del stock y en definitiva aparece la cola. Por otra parte, en los servicios las colas suelen ser de personas y no de objetos y ello es lo que sin duda tiene mayores implicaciones para la distribución en planta, en todo punto en que se pueda producir una cola se tiene que prever un espacio para albergarla y prever cuál será la configuración de la cola o colas, esto último incluye la decisión sobre el número de unidades de servicio, que es función de la demanda y de su distribución, del tiempo de servicio y de los costos o del nivel de servicio que se establezca como objetivo.

Un aspecto de la configuración de la cola es su *disciplina*, regla o conjunto de reglas que determinan el orden en que las unidades serán atendidas, desde luego la disciplina más usual es la de “primer llegada, primera salida” (FIFO, de *first in, first out*), pero no es la única; el orden en la recepción del servicio puede estar determinado por un sistema de cita previa, por ejemplo, o puede resultar por lo menos en parte del azar, en ciertos servicios puede haber prioridades para ciertas unidades bien sea por costumbre o por razones comerciales, ya que existe una escala de tarifas para el servicio o porque la propia naturaleza de éste así lo exija; en un hospital una urgencia grave puede pasar por delante de otras visitas; la prioridad puede ser tan fuerte que se llegue a interrumpir el servicio que se está prestando.

Aunque las colas pueden ser prácticamente inevitables, para los usuarios suelen constituir un exponente de mala gestión, además la percepción del tiempo de espera no es la misma que la del tiempo de servicio; éste, en todo caso, es un tiempo perdido, inútil, improductivo y parece más largo que el tiempo de servicio, especialmente cuando el usuario no tiene información sobre lo que está ocurriendo y no observa progresos en la cola, de ahí la importancia de una disposición adecuada de los espacios en que se produce la espera que, idealmente, debe ser aprovechada para dar información al usuario, prestarle algún servicio complementario o preparar el servicio básico que está esperando y reducir así el tiempo de prestación propiamente dicho; en particular, hay que prever elementos de información, preferentemente visuales. En conjunto, estas observaciones y comentarios pueden contribuir al planteamiento racional de distribuciones en un sector, como el terciario, que ocupa ya a la mayor parte de la población activa y que pese a ello, sigue siendo objeto a veces de una gestión artesanal.



ANEXO C

UTILIZACIÓN DE LOS GRÁFICOS Y DIAGRAMAS

La forma más utilizada de registrar los hechos, es registrarlos por escrito, pero, desgraciadamente este método no se presta para registrar las técnicas complicadas que son tan frecuentes en la industria moderna. Así, es específicamente, cuando tiene que constar fielmente cada detalle que no tiene gran relevancia de un proceso u operación. Para describir exactamente todo lo que se hace incluso en un trabajo muy sencillo que tal vez se cumpla en algunos minutos, probablemente se necesitarían varias páginas de escritura menuda, que requerirán atentos estudios antes de que el lector pueda tener total seguridad de que asimiló todos los detalles.

Para evitar esas dificultades se idearon otras técnicas o instrumentos de anotación, de modo que se pudiera consignar informaciones con precisión y al mismo tiempo en forma estandarizada, a fin de que todos los interesados las comprendan de inmediato, aunque trabajen en fábricas o países muy distintos.

Entre esas técnicas las más usadas son los gráficos y diagramas, de las cuales hay varios tipos uniformes, cada uno con su respectivo propósito, los gráficos se dividen en dos categorías:

- Los que sirven para consignar una sucesión de hechos o acontecimientos en el orden en que ocurren, pero sin recuperarlos a escala.
- Los que registran los sucesos, también en el orden en que ocurren, pero indicando su escala en el tiempo, de modo que se observe mejor la acción mutua de los sucesos relacionados entre sí.

Los nombres de diversos gráficos figuran en la tabla C-1, divididos en dos categorías situadas y acompañadas por una lista de diagramas de uso más comunes, Por otra parte los diagramas sirven para indicar el movimiento y/o las interrelaciones de movimientos con más claridad que los gráficos, por lo general sirven como complemento y no llevan tantas indicaciones como los gráficos.





Tabla C-1.- Gráficos y diagramas de uso más común

GRÁFICOS Y DIAGRAMAS	
A) GRÁFICOS	<ul style="list-style-type: none">⊙ Que indican la sucesión de los hechos.⊙ Cursograma sinóptico de proceso.⊙ Cursograma analítico del operario,⊙ Cursograma analítico del material.⊙ Cursograma analítico del equipo o maquinaria.⊙ Diagrama bimanual.⊙ Cursograma administrativo.
B) GRÁFICOS	<ul style="list-style-type: none">⊙ Con escala de tiempo.⊙ Diagrama de actividades múltiples.⊙ Simograma.
C) DIAGRAMAS	<ul style="list-style-type: none">⊙ Que indican movimiento.⊙ Diagrama de recorrido o de circuito.⊙ Diagrama de hilos,⊙ Ciclograma.⊙ Cronociclograma.⊙ De trayectoria.

Fuente: Organización Internacional del Trabajo, OIT. (2000)

El diagrama de recorrido de actividades.- Aunque el diagrama de curso de proceso suministra la mayor parte de la información pertinente relacionada con un progreso de fabricación, no es una representación objetiva en el plano del curso del trabajo, algunas veces esta información sirve para desarrollar un nuevo método. Por ejemplo, antes de que pueda acortarse un transporte es necesario ver o visualizar dónde habría sitio para agregar una instalación o dispositivo que permita disminuir la distancia. Así mismo, es útil considerar posibles áreas de almacenamiento temporal o permanente, estaciones de inspección y puntos de trabajo, la mejor manera de obtener esta información es tomar un plano de la distribución existente de las áreas a considerar en la planta, y trazar en él las líneas de flujo que indiquen el movimiento del material de una actividad a otra, una representación objetiva o topográfica de la distribución de zonas y edificios, en la que se indica la localización de todas las actividades registradas en el *diagrama de curso de proceso*, se conoce como diagrama de recorrido de actividades.

Al elaborar este reograma de recorrido el analista debe identificar cada actividad por símbolos y números que correspondan a los que aparecen en el diagrama de flujo de proceso, el sentido del flujo se indica colocando periódicamente pequeñas flechas a lo largo de las líneas de recorrido, si se desea





mostrar el recorrido de más de una pieza se puede utilizar un color diferente para cada una.

Es evidente que el diagrama de recorrido es un complemento valioso del diagrama de curso de proceso, pues en él puede trazarse el recorrido inverso y encontrar las áreas de posible congestión de tránsito, y facilita así el poder lograr una mejor distribución en la planta.

El cursograma sinóptico del proceso.- Con frecuencia es útil ver de una sola ojeada la totalidad del proceso o actividad antes emprender su estudio detallado, y para eso, precisamente, sirve el cursograma sinóptico. Es un diagrama que presenta un cuadro general de cómo se suceden tan sólo las principales operaciones e inspecciones. Solo se anotan, pues, las operaciones principales, así como las inspecciones efectuadas para comprobar su resultado, sin tener en cuenta quién las ejecuta ni dónde se lleva a cabo, para preparar esos cursogramas solo se necesita los dos símbolos correspondientes a la operación y a la inspección, a la información que dan de por sí los símbolos y sus sucesión se añade paralelamente una nota breve sobre la naturaleza de cada operación o inspección y, cuando se conoce, el tiempo que se fija.

Utilización del diagrama de curso de proceso.- Este diagrama, como el diagrama de operaciones de proceso, no es un fin en sí, sino sólo un medio para lograr una meta, se utiliza como instrumento de análisis para eliminar los costos ocultos de un componente. Como el reograma muestra claramente todos los transportes, retrasos y almacenamientos, es conveniente para reducir la cantidad y la duración de estos elementos. Una vez que el analista ha elaborado el diagrama de curso de proceso, debe empezar a formular las preguntas o cuestiones basadas en las consideraciones de mayor importancia para el análisis de operaciones. En el caso de este diagrama se debe dar especial consideración a:

1. Manejo de materiales.
2. Distribución de equipo en la planta.
3. Tiempo de retrasos.
4. Tiempo de almacenamientos.

Es probable que el analista ya haya elaborado y analizado un diagrama de operaciones de proceso del ensamble o conjunto del cual es componente la parte que se estudia en el reograma, este dispositivo se elaboró a partir de los componentes del ensamble particular donde se consideró que sería práctico hacer un estudio adicional de los costos ocultos, al analizar el reograma el analista no deberá perder mucho tiempo volviendo a estudiar las operaciones o inspecciones efectuadas en el componente, cuando éstas ya hayan sido estudiadas. Debe importarle más el estudio de las distancias que las partes que deben recorrer de operación a operación, así como las demoras que ocurrirán, desde luego que si el diagrama de curso de proceso fue elaborado inicialmente entonces deberá emplearse todos los enfoques primarios en relación con el análisis de operaciones para estudiar los eventos que aparecen





en él.

Al analista le interesa principalmente mejorar lo siguiente:

- *Primero*, el tiempo de cada operación, inspección, movimiento, retraso y almacenamiento.
- *Segundo*, la distancia de recorrido cada vez que se transporta el componente.

Lo anterior es para eliminar o reducir al mínimo los tiempos de retraso y almacenamiento a fin de mejorar las entregas a los clientes, así como para reducir costos, el analista debe considerar estas preguntas de comprobación al estudiar el trabajo:

1. ¿Con qué frecuencia no se entrega la cantidad completa de material a la operación?
2. ¿Qué se puede hacer para programar la llegada de materiales con objeto de que lleguen en cantidades más regulares?
3. ¿Cuál es el tamaño más eficiente de lote o cantidad de piezas en fabricación?
4. ¿Cómo pueden reorganizarse los programas para que se tengan ciclos o periodos de producción más largos?
5. ¿Cuál es la mejor sucesión o secuencia de programación de los pedidos teniendo en cuenta el tipo de operación, las herramientas requeridas, colores, etc.?
6. ¿Cómo se pueden agrupar operaciones de grupo semejantes de manera que puedan efectuarse al mismo tiempo?
7. ¿Cuánto pueden reducirse con una programación mejorada los tiempos muertos y el tiempo extra de trabajo?
8. ¿A qué se deben las operaciones de mantenimiento de emergencia y los pedidos urgentes?
9. ¿Cuánto tiempo de almacenamiento y retraso se puede ahorrar estableciendo horarios más regulares al trabajar ciertos productos en determinados días?
10. ¿Qué programas alternos pueden idearse para utilizar los materiales con mayor eficiencia?
11. ¿Valdría la pena acumular operaciones de recoger, entregar o enviar?
12. ¿Cuál es el departamento apropiado para hacer el trabajo de modo que pueda efectuarse donde hay la misma clase de trabajos y se pueda economizar así un traslado, un retraso o un almacenamiento?
13. ¿Cuánto se ahorraría haciendo el trabajo en otro turno? ¿O en otra planta?
14. ¿Cuál es el momento o lapso más conveniente y económico para realizar pruebas y experimentos?
15. ¿Qué información falta en los pedidos hechos a la fábrica que pudiera ocasionar un retraso o almacenamiento?
16. ¿Cuánto tiempo se pierde en cambiar turnos a horas diferentes en departamentos relacionados?
17. ¿Cuáles son las interrupciones frecuentes del trabajo y cómo deberían eliminarse?
18. ¿Cuánto tiempo pierde un obrero esperando o no recibiendo las instrucciones, copias de dibujos o





especificaciones apropiadas?

19. ¿Cuántas veces ocasionan suspensiones del trabajo los pasillos congestionados?
20. ¿Qué mejoras se pueden hacer en la localización de puertas y pasillos, y haciendo pasillos que reduzcan los retrasos?

Las preguntas específicas de comprobación que debe formular el analista para acortar las distancias recorridas y reducir el tiempo de manejo de material, son las siguientes:

1. ¿Se está practicando la tecnología de grupos de productos para reducir el número de preparaciones y permitir mayores corridas o ciclos de producción?
2. ¿La tecnología de grupos de productos es la clasificación de productos diferentes en configuraciones geométricas y tamaños similares a fin de aprovechar la economía en manufactura proporcionada por producción en grandes cantidades?
3. ¿Puede una instalación reubicarse económicamente para reducir las distancias recorridas?
4. ¿Qué puede hacerse para reducir el manejo de materiales?
5. ¿Cuál es el equipo adecuado para manipulación de materiales?
6. ¿Cuánto tiempo se pierde en llevar y traer materiales de la estación de trabajo?
7. ¿Se debería considerar el agrupamiento de productos en vez del agrupamiento de procesos?
8. ¿Qué puede hacerse para aumentar el tamaño de la unidad de material manipulado a fin de reducir el manejo, el desperdicio y los tiempos muertos?
9. ¿Cómo se podría mejorar el servicio de ascensores o elevadores?
10. ¿Qué podría hacerse acerca de los pasadizos y pasajes para vehículos a fin de acelerar el transporte?
11. ¿Cuál es la posición más apropiada en que debe colocarse el material para reducir la cantidad de manipulación requerida por un operario?
12. ¿Cómo podría utilizarse la entrega o traslado por gravedad?

Un estudio del reograma completo de un proceso familiarizará al analista con todos los detalles pertinentes relacionados con los costos directos e indirectos de un proceso de fabricación, de modo que pueda analizarlos con vistas a introducir mejoras, es difícil mejorar un método a menos que se conozcan todos los hechos relacionados con el mismo, la inspección casual de una operación no proporcionará la información necesaria para llevar a cabo un trabajo concienzudo de mejoramiento de métodos, el hecho de que las distancias se registren en el diagrama de flujo de proceso lo hace de gran valor para poner de manifiesto cómo podría mejorarse la distribución del equipo en la fábrica o planta, el empleo inteligente de este diagrama se traducirá en mejoras valiosas.



ANEXO D

SÍMBOLOS EMPLEADOS EN LOS CURSOGRAMAS

Para hacer constar en un cursograma todo lo referente a un trabajo u operación resulta mucho más fácil emplear una serie de cinco símbolos uniformes que conjuntamente sirven para representar todos los tipos de actividades o sucesos que probablemente se den en cualquier fábrica u oficina constituyendo una clave muy cómoda, ahorra mucha escritura permite indicar con claridad exactamente lo que ocurre durante el proceso que se analiza (ver figura D-1). Las dos actividades principales de un proceso son la operación y la inspección, que se representan con los símbolos siguientes:

OPERACIÓN



Indica las principales fases del proceso, método o procedimiento. Por lo común la pieza, materia o producto del caso se modifica o cambia durante la operación. Se verá después que también se emplea el símbolo de la operación cuando se consigna un procedimiento, por ejemplo, un trámite corriente de oficina. Se dice que hay «operación» cuando se da o se recibe información o cuando se hacen planes o cálculos.

INSPECCIÓN



Indica la inspección de la calidad y/o la verificación de la cantidad. La distinción entre esas dos actividades es evidente: La operación hace avanzar al material, elemento o servicio un paso más hacia el final, bien sea al modificar su forma (como en el caso de una pieza que se labra) o su composición química (tratándose de un proceso químico) o bien al añadir o quitar elementos (si se hace un montaje). La operación también puede consistir en preparar cualquier actividad que favorezca la terminación del producto.





La inspección no contribuye a la conversión del material en producto acabado. Sólo sirve para comprobar si una operación se ejecutó correctamente en lo que se refiere a calidad y cantidad. Si los seres humanos fueran infalibles, la mayoría de las inspecciones serían innecesarias. Con frecuencia se precisa mayor detalle gráfico del que pueden dar esos dos símbolos, y entonces se utilizan estos otros tres:

TRANSPORTE



Indica el movimiento de los trabajadores, materiales y equipo de un lugar a otro. Hay transporte cuando un objeto se traslada de un lugar a otro, salvo que el traslado forme parte de una operación o sea efectuado por un operario en su lugar de trabajo al realizar una operación o inspección. En esta obra aparecerá el símbolo del transporte siempre que se manipulen materiales para ponerlos o quitarlos de camiones, bancos, depósitos. etc.

DEPÓSITO PROVISIONAL O ESPERA



Indica demora en el desarrollo de los hechos: por ejemplo, trabajo en suspenso entre dos operaciones sucesivas, o abandono momentáneo, no registrado, de cualquier objeto hasta que se necesite. Es el caso del trabajo amontonado en el suelo del taller entre dos operaciones, de los cajones por abrir, de las piezas por colocar en sus casilleros o de las carras por firmar.

ALMACENAMIENTO PERMANENTE



Indica depósito de un objeto bajo vigilancia en un almacén donde se lo recibe o entrega mediante alguna forma de autorización o donde se guarda con fines de referencia. Hay almacenamiento permanente cuando se guarda un objeto y se cuida de que no sea trasladado sin autorización. La diferencia entre “almacenamiento permanente” y “depósito provisional o espera” es que, generalmente se necesita un pedido de entrega, un vale u otra prueba de autorización para sacar los objetos dejados en almacenamiento permanente, pero no para los depositados en forma provisional.

ACTIVIDADES COMBINADAS



Cuando se desea indicar que varias actividades son ejecutadas al mismo tiempo o por el mismo operario en un mismo lugar de trabajo, se combinan los símbolos de tales actividades; por ejemplo: un círculo dentro de un cuadrado representa la actividad combinada de operación e inspección.






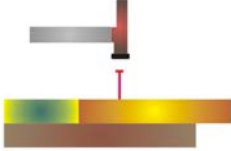
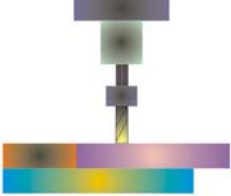
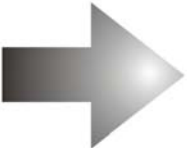
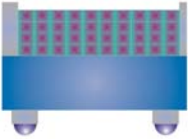




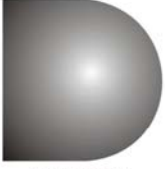
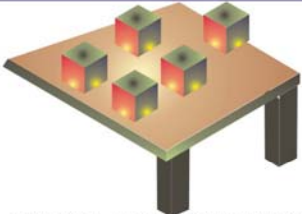
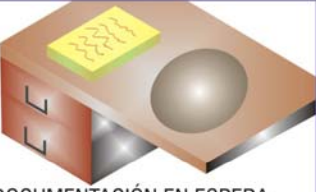

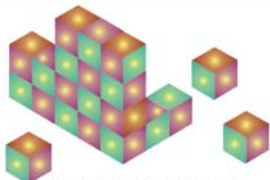

ACTIVIDAD	EJEMPLOS	
 OPERACIÓN	 CLAVAR	 TALADRAR
 TRANSPORTE	 CARRO	 POR APAREJO
 INSPECCIÓN	 LECTURA DE MEDIDOR	 LECTURA DE DOCUMENTOS
 DEMORA	 MATERIAL ESPERA DE PROCESO	 DOCUMENTACIÓN EN ESPERA DE CLASIFICACIÓN
 ALMACÉN	 DEPOSITO DE PRODUCTO TERMINADO	 ARCHIVO

Figura D-1.- Presenta un ejemplo del uso de símbolos empleados en los cursogramas
Fuente: Barmes, M.,R. (1980)



ANEXO E

MODELOS MÁS COMUNES DE RNA

PERCEPTRÓN SIMPLE

En 1943, Warren McCulloch y Walter Pitts originaron el primer modelo de operación neuronal, el cual fué mejorado en sus aspectos biológicos por Donald Hebb en 1948. En 1962 Bernard Widrow propuso la regla de aprendizaje Widrow-Hoff, y Frank Rosenblatt desarrolló una prueba de convergencia, y definió el rango de problemas para los que su algoritmo aseguraba una solución. El propuso los Perceptrons como herramienta computacional.

En la figura E-1 se representa una neurona “artificial”, que intenta modelar el comportamiento de la neurona biológica, aquí el cuerpo de la neurona se representa como un sumador lineal de los estímulos externos z_j , seguida de una función no lineal $y_j = f(z_j)$. La función $f(z_j)$ es llamada la función de activación, y es la función que utiliza la suma de estímulos para determinar la actividad de salida de la neurona.

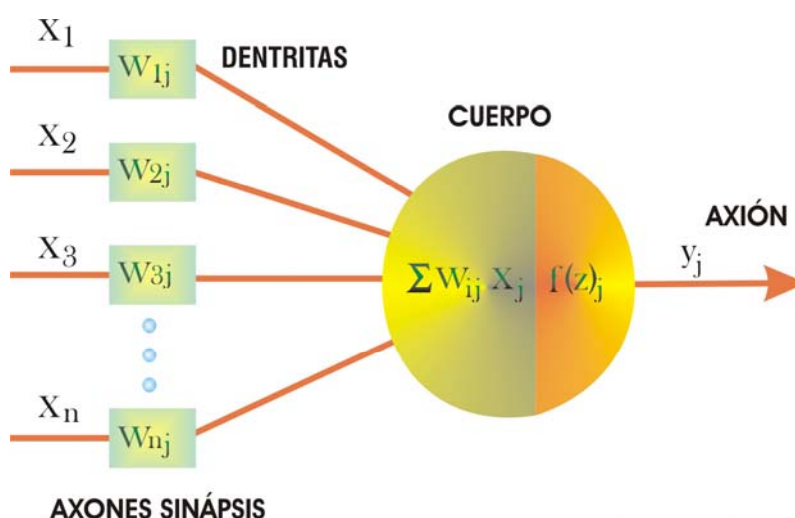


Figura E-1.- Neurona artificial Perceptrón simple



Fuente: <http://electronica.com.mx/neural/informacion/perceptron.html>





Este modelo se conoce como perceptrón de McCulloch-Pitts, y es la base de la mayor parte de la arquitectura de las RNA que se interconectan entre sí. Las neuronas emplean funciones de activación diferentes según la aplicación, algunas veces son funciones lineales, otras funciones sigmoideas y otras funciones de umbral de disparo.

La eficiencia sináptica se representa por factores de peso de interconexión w_{ij} , desde la neurona i , hasta la neurona j . Los pesos pueden ser positivos (excitación) o negativos (inhibición), los pesos junto con las funciones $f(z)$ dictan la operación de la red neuronal, normalmente las funciones no se modifican de tal forma que el estado de la red neuronal depende del valor de los factores de peso (sinápsis) que se aplica a los estímulos de la neurona.

En un perceptrón, cada entrada es multiplicada por el peso W correspondiente, y los resultados son sumados, siendo evaluados contra el valor de umbral, si el resultado es mayor al mismo, el perceptrón se activa, es capaz tan sólo de resolver funciones definidas por un hiperplano (objeto de dimensión $N-1$ contenida en un espacio de dimensión N), que corte un espacio de dimensión N , un ejemplo de una función que no puede ser resuelta es el operador lógico XOR.

Una explicación más sencilla de un hiperplano sería, hablando en un plano de dos dimensiones, una línea que separa a los elementos existentes en dos grupos, el perceptrón sólo puede resolver una función, si todos los posibles resultados del problema pueden separarse de ésta forma (en dos secciones) es decir, que no se combinen entre sí. El entrenamiento de un perceptrón es por medio de la regla de aprendizaje delta:

Para cada peso W se realiza un ajuste dW según la regla:

$$dW = LR (T - Y) X$$

Donde:

LR es la razón de aprendizaje

T el valor deseado.

Y el valor obtenido.

X la entrada aplicada al perceptrón.

Aplicación: El rango de tareas que el Perceptrón puede manejar es mucho mayor que simples decisiones y reconocimiento de patrones. Por ejemplo, se puede entrenar una red para formar el tiempo pasado de los verbos en ingles, leer texto en ingles y manuscrito. NETtalk es un Perceptrón que es capaz de transformar texto en ingles en sonido individual (representaciones fonéticas) y la pronunciación con la utilización de un sintetizador de voz;





cuenta con aproximadamente 300 nodos de neuronas (siendo 80 en la capa escondida) y 20,000 conexiones individuales.

ADALINE

La red Adaline es similar al Perceptrón, excepto en su función de transferencia, la cual es una función de tipo lineal (ver figura E-2) en lugar de un limitador fuerte como en el caso del Perceptrón. La red Adaline presenta la misma limitación del Perceptrón en cuanto al tipo de problemas que pueden resolver, ambas redes pueden solo resolver problemas linealmente separables, sin embargo el algoritmo LMS es más potente que la regla de aprendizaje del Perceptrón ya que minimiza el error medio cuadrático, la regla sirvió de inspiración para el desarrollo de otros algoritmos, este es el gran aporte de esta red.

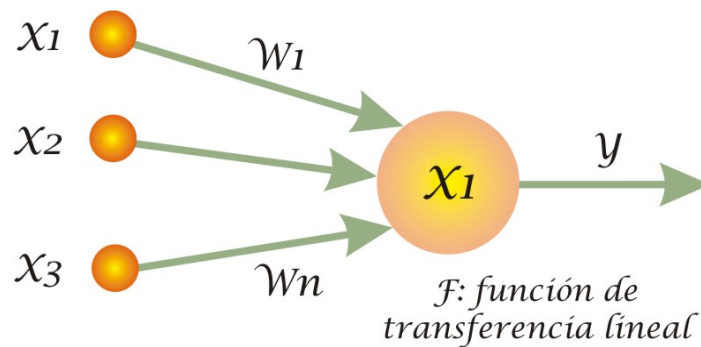


Figura E-2.- Modelo elemento lineal Adaline

Fuente: <http://www.lfcia.org/~cipenedo/cursos/scx/Tema3/nodo3-1-2.html>

El término adaline es una sigla, sin embargo su significado cambió ligeramente a finales de los años sesenta cuando decayó el estudio de las redes neuronales, inicialmente se llamaba ADaptive LInear NEuron (Neurona Lineal Adaptiva), para pasar después a ser Adaptive LInear Element (Elemento Lineal Adaptivo), este cambio se debió a que la Adaline es un dispositivo que consta de un único elemento de procesamiento, como tal no es técnicamente una red neuronal. El elemento de procesamiento realiza la suma de los productos de los vectores de entrada y de pesos, y aplica una función de salida para obtener un único valor de salida, el cual debido a su función de transferencia lineal será +1 si la sumatoria es positiva, -1 si la salida de la sumatoria es negativa. En términos generales la salida de la red está dada por: $\mathbf{a}=\mathbf{W}^t \mathbf{p}$

En este caso, la salida es la función unidad al igual que la función de activación; el uso de la función identidad como función de salida y como función de activación significa que la salida es igual a la activación, que es la misma entrada neta al elemento. Si se combinan varios adalines se obtiene la





configuración denominada Madaline. Para su entrenamiento se utiliza un aprendizaje supervisado, concretamente, por corrección de error. El aprendizaje es Off Line. La principal aplicación de las redes tipo Adaline se encuentra en el campo de procesamiento de señales, concretamente en el diseño de filtros capaces de eliminar ruido en señales portadoras de información, otra aplicación es la de los *filtros adaptativos*: Predecir el valor futuro de una señal a partir de su valor actual.

EL PERCEPTRÓN MULTICAPA (MLP)

Este es uno de los tipos de redes más comunes. Se basa en otra red mas simple llamada perceptrón simple solo que el número de capas ocultas puede ser mayor o igual que una. Es una red unidireccional (feedforward). La arquitectura típica de esta red se muestra en la siguiente figura:

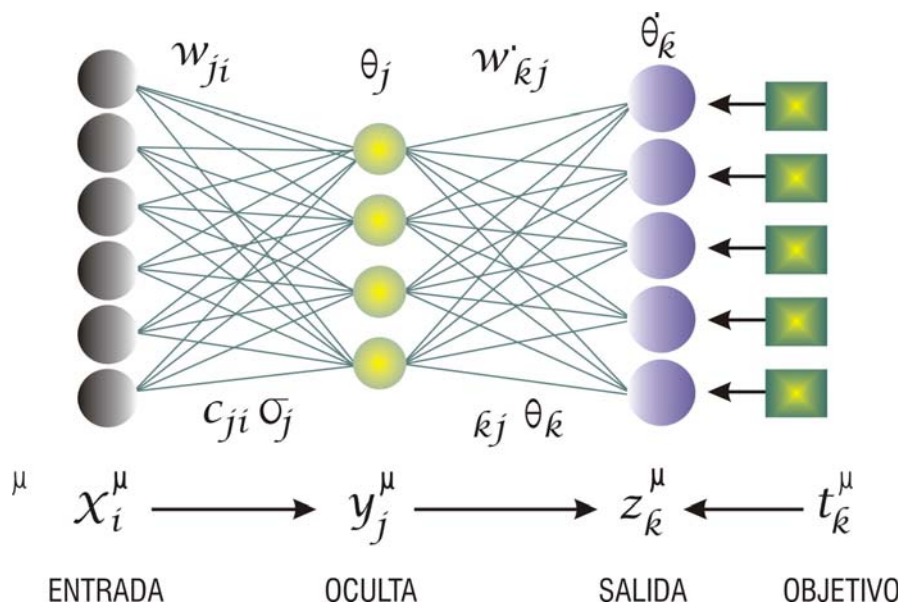


Figura E-3.- Representación de un Perceptrón Multicapa (MLP)

Fuente: http://es.tldp.org/Presentaciones/200304curso-glisa/redes_neuronales/curso-glisa-redes_neuronales.html/x105.html

Las neuronas de la capa oculta usan como regla de propagación la suma ponderada de las entradas con los pesos sinápticos w_{ij} y sobre esa suma ponderada se aplica una función de transferencia de tipo sigmoide, que es acotada en respuesta. (Figura E-4)

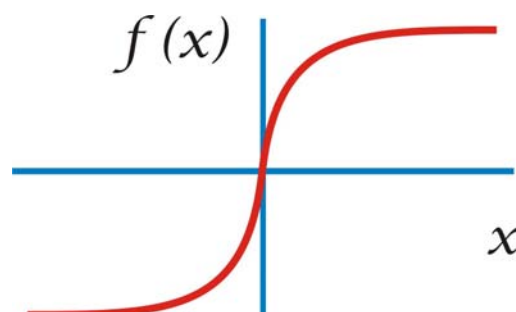


Figura E-4.- Forma funcional de una sigmoide





Fuente: http://es.tldp.org/Presentaciones/200304curso-glija/redes_neuronales/curso-glija-redes_neuronales-html/x105.html

El aprendizaje que se suele usar en este tipo de redes recibe el nombre de retropropagación del error (backpropagation). Como función de costo global, se usa el error cuadrático medio. Es decir, que dado un par $(\mathbf{x}_k, \mathbf{d}_k)$ correspondiente a la entrada k de los datos de entrenamiento y salida deseada asociada se calcula la cantidad:

Error cuadrático medio

$$E(w_{ij}, \theta_j, w'_{kj}, \theta'_k) = \frac{1}{2} \sum_p \sum_k \left[d_k^p - f \left(\sum_j w'_{kj} y_j^p - \theta'_k \right) \right]^2$$

Aquí vemos que es la suma de los errores parciales debido a cada patrón (índice p), resultantes de la diferencia entre la salida deseada d_p y la salida que da la red $f(\cdot)$ ante el vector de entrada \mathbf{x}_k . Si estas salidas son muy diferentes de las salidas deseadas, el error cuadrático medio será grande, f es la función de activación de las neuronas de la capa de salida e y la salida que proporcionan las neuronas de la última capa oculta. Sobre esta función de costo global se aplica algún procedimiento de minimización. En el caso del MLP se hace mediante un descenso por gradiente, las expresiones que resultan aplicando la regla de la cadena son las siguientes:

Términos delta

$$\begin{aligned} \delta w'_{kj} &= -\epsilon \frac{\partial E}{\partial w'_{kj}} \\ \delta w'_{ji} &= -\epsilon \frac{\partial E}{\partial w'_{ji}} \\ \delta w'_{kj} &= \epsilon \sum_p \Delta_k^p y_j^p \quad \text{con} \quad \Delta_k^p = [d_k^p - f(v_k^p)] \frac{\partial f(v_k^p)}{\partial v_k^p} \\ \delta w_{ij} &= \epsilon \sum_p \Delta_j^p x_i^p \quad \text{con} \quad \Delta_j^p = \left(\sum_k \Delta_k^p w'_{kj} \right) \frac{\partial f(v_j^p)}{\partial v_j^p} \end{aligned}$$

Siendo y_k las salidas de la capa oculta.

El aprendizaje por backpropagation queda como sigue:

1. Inicializar los pesos y los umbrales iniciales de cada neurona. Hay varias posibilidades de inicialización siendo las más comunes las que introducen valores aleatorios pequeños.
2. Para cada patrón del conjunto de los datos de entrenamiento
 - a. Obtener la respuesta de la red ante ese patrón. Esta parte se consigue propagando la entrada hacia adelante, ya que este tipo de red es feedforward. Las salidas de una capa sirven como entrada a las neuronas de la capa siguiente, procesando las de acuerdo a la regla de propagación y la función de activación correspondientes.
 - b. Calcular los errores asociados según la ecuación término delta.





- c. Calcular los incrementos parciales (sumandos de los sumatorios). Estos incrementos dependen de los errores calculados.
3. Calcular el incremento total, para todos los patrones, de los pesos y los umbrales según las expresiones en la ecuación término delta.
4. Actualizar pesos y umbrales

Calcular el error actual y volver al paso 2 si no es satisfactorio.

MEMORIAS ASOCIATIVAS

Descubren cómo el cerebro fabrica la imagen de una flor científicos norteamericanos verifican las ecuaciones de kohonen sobre memorias asociativas formuladas en 1982, figura E-5. Se han comprobado cómo se relacionan las neuronas cuando reconstruyen las imágenes proporcionadas por la información visual: descubrieron que las neuronas se solapan unas con otras para que la combinación de características percibidas por cada una de ellas permita la construcción de una imagen completa del objeto percibido, este comportamiento de las neuronas ya había sido descrito matemáticamente por Teuvo Kohonen en 1982. La neurología ha tardado 23 años en comprobar que los números de la matriz matemática se correspondían realmente con algunas propiedades de las sinapsis, lo que constituye un nuevo impulso a la Inteligencia Artificial.

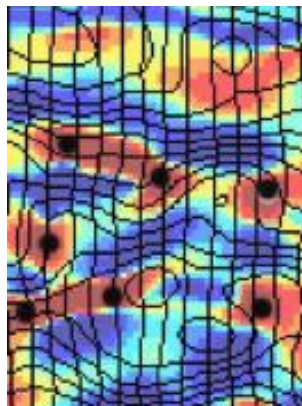


Figura E-5.- Modelo memorias asociativas (tendencias científicas)

Fuente: <http://www.lfcia.org/~cipenedo/cursos/scx/Tema3/nodo3-1-2.html>

Científicos del Massachusetts Institute of Technology (MIT) y de la Universidad de Pennsylvania han comprobado las ecuaciones formuladas por el matemático Teuvo Kohonen en 1982 sobre las conductas asociativas de las neuronas cuando tratan la información visual, lo que facilitará nuevos desarrollos de la Inteligencia Artificial. Cuando una persona ve una flor, las neuronas de su cerebro trabajan activamente para crear una imagen que responda al color, a la forma y a la distancia a la que la flor se encuentra de nuestros ojos, hasta ahora no se sabía completamente cómo el cerebro realiza este proceso, aunque un modelo matemático lo había anticipado.





Los investigadores, que han publicado su trabajo en la revista *Neuron*, señalan que las tareas múltiples forman parte de la actividad cerebral, ya que cada parte de la corteza dispone de neuronas que desempeñan muchas funciones cada una, lo que revela un principio básico de la organización del cerebro. Tal como explica el MIT en un comunicado, los investigadores comprobaron que las neuronas se agrupan según su capacidad para detectar diversas características de un objeto físico, como sus bordes o colores, o si es percibido por el ojo izquierdo o derecho.

También verificaron que las neuronas se solapan después unas con otras para que la combinación de características percibidas por cada una de ellas permita la construcción de una imagen completa del objeto percibido. Cuando algo falla en este procedimiento, la percepción visual es errónea, presenta ángulos oscuros y zonas de la realidad que no forman parte de la imagen mental construida por los mecanismos de la información visual.

La información visual es uno de los procesos más complejos de la actividad cerebral, alcanza la retina tras atravesar los ojos, donde la imagen se forma invertida. Las señales son procesadas como impulsos nerviosos que viajan, inicialmente por el nervio óptico, para alcanzar el tálamo dorsal y luego la corteza cerebral (corteza visual primaria).

La corteza visual primaria no es sin embargo la única región del cortex implicada en el análisis de las señales visuales, ya que sólo resuelve las etapas iniciales del procesamiento visual. Hay otras regiones más profundas (cortezas asociativas) donde tiene lugar la asociación de los estímulos visuales con estímulos de otras modalidades sensoriales.

Durante la investigación relatada por *Neuron*, las neuronas de la corteza visual detectaron objetos en regiones vecinas del espacio y crearon una imagen o mapa de la escena visual gracias a que se solaparon unas con otras para fabricar esa escena visual a partir de los elementos que habían percibido cada una de ellas.

La principal aportación de esta investigación radica en haber observado cómo las neuronas se solapan unas con otras para elaborar el mapa visual a partir de la información percibida. Un matemático finlandés había abordado este problema en 1982, cuando explicó mediante fórmulas matemáticas el comportamiento neuronal que ahora ha sido verificado.

Teuvo Kohonen, profesor de la Facultad de Ciencias de la Información (Universidad de Helsinki), trabajó en las denominadas Memorias Asociativas y en modelos para actividad neurobiológica. Los modelos de memorias distribuidas dieron nacimiento a la moderna teoría de las redes neuronales.





Kohonen pretendía representar matemáticamente las actividades de amplios grupos neuronas y estableció que la actividad cerebral era el resultado de la actuación combinada de miles de neuronas que actuaban en paralelo, por lo que una memoria asociativa debía ser capaz de relacionar conjuntos muy amplios de señales. Tanto a nivel teórico como práctico queda establecido desde ahora que los datos de las memorias asociativas que regulan nuestra actividad cerebral se almacenan mediante modificaciones que se producen a nivel de las sinapsis, modificaciones que pueden ser modelizadas matemáticamente.

RED DE ELMAN

La estructura de la Red: de Elman (ver figura E-6) típicamente posee dos capas, cada una compuesta de una red tipo Back propagación, con la adición de una conexión de realimentación desde la salida de la capa oculta hacia la entrada de la misma capa oculta, esta realimentación permite a la red de Elman aprender a reconocer y generar patrones temporales o variantes con el tiempo.

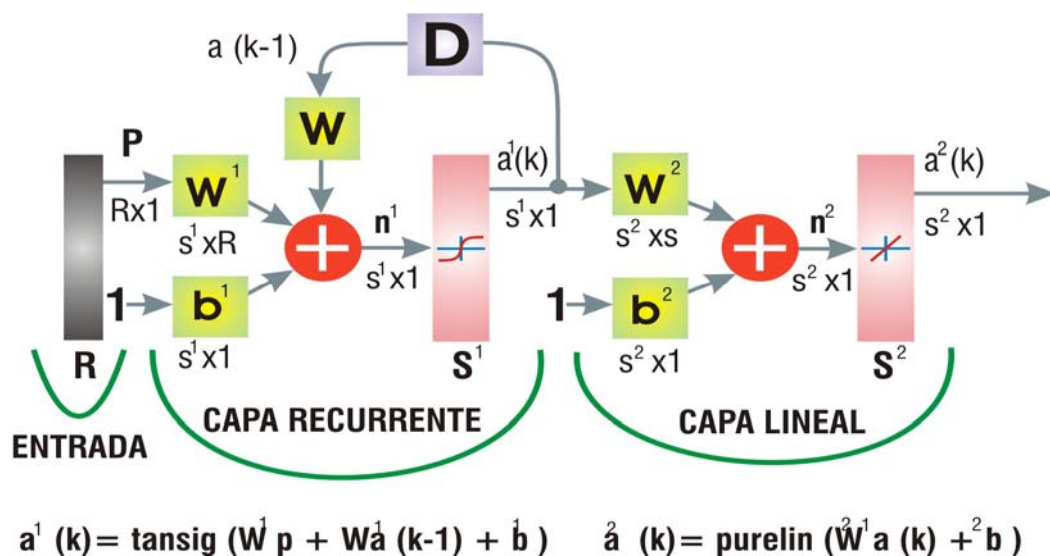


Figura E-6.- Estructura de la red de Elman

Fuente: <http://ingenieria.udea.edu.co/investigacion/mecatronica/mectronics/redes.htm>

La red de Elman generalmente posee neuronas con función transferencia sigmoide en su capa oculta, en este caso *tansig* y neuronas con función de transferencia tipo lineal en la capa de salida, en esta caso *purelin*, la ventaja de la configuración de esta red de dos capas con este tipo de funciones de transferencia. Para la red de Elman la capa oculta es la capa recurrente y el retardo en la conexión de realimentación almacena los valores de la iteración previa, los cuales serán usados en la siguiente iteración; dos redes de Elman con los





mismos parámetros y entradas idénticas en las mismas iteraciones podrían producir salidas diferentes debido a que pueden presentar diferentes estados de realimentación. Debido a la estructura similar de la red de Elman con una red tipo Back propagación, esta red puede entrenarse con cualquier algoritmo de propagación.

El entrenamiento de la red puede resumirse en los siguientes pasos:

- Presentar a la red, los patrones de entrenamiento y calcular la salida de la red con los pesos iniciales, comparar salida de la red con los patrones objetivo y generar la secuencia de error.
- Propagar inversamente el error para encontrar el gradiente del error para cada conjunto de pesos y ganancias,
- Actualizar todos los pesos y ganancias con el gradiente encontrado con base en el algoritmo de propagación inversa.

La red de Elman no es tan confiable como otros tipos de redes porque el gradiente se calcula con base en una aproximación del error, para solucionar un problema con este tipo de red se necesitan más neuronas en la capa oculta que si se solucionara el mismo problema con otro tipo de red.

REDES DE HOPFIELD

Las redes de Hopfield (ver figura E-7) son redes de adaptación probabilística, recurrentes, funcionalmente entrarían en la categoría de las memorias autoasociativas, que aprenden a reconstruir los patrones de entrada que memorizaron durante el entrenamiento, la principal aportación de Hopfield consistió precisamente en conseguir que tales redes recurrentes fueran así mismo estables, imaginó un sistema físico capaz de operar como una memoria autoasociativa, que almacenara información y fuera capaz de recuperarla aunque la misma se hubiera deteriorado, a cada estado de la red se le puede atribuir una cierta cantidad de energía, el sistema evoluciona tratando de disminuir la energía mediante un proceso de relajación (recordemos el símil con una pelota cayendo por una superficie multidimensional), hasta alcanzar un mínimo (valle) donde se estabiliza, los mínimos de energía se corresponden con los recuerdos almacenados durante el aprendizaje de la red.



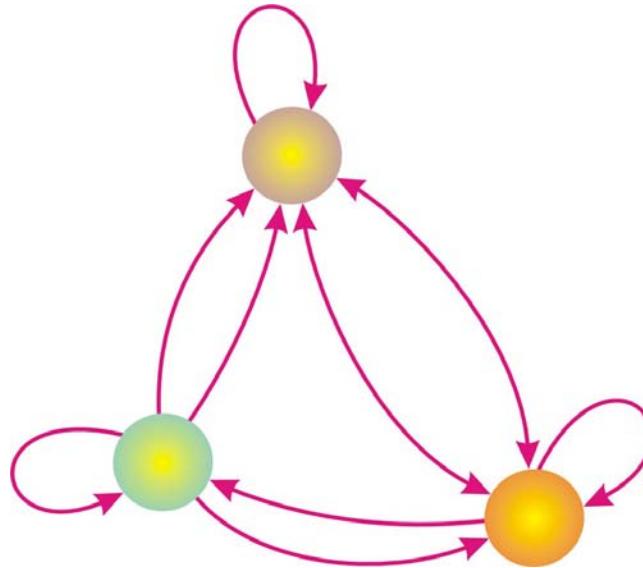


Figura E-7.- Modelo de red de Hopfield de 3 unidades

Fuente: <http://www.Redes-neuronales.tk/>

Ante la presentación de un estímulo nuevo se obtendrá una configuración inicial más o menos parecida a alguno de los estímulos almacenados, el sistema evolucionará hasta caer en una configuración estable que representa el recuerdo asociado a ese estímulo, si la configuración inicial discrepa mucho de los recuerdos almacenados podemos alcanzar algún mínimo que no se corresponde a ningún recuerdo almacenado, recuperando en ese caso una información espuria, o podríamos no alcanzar ningún mínimo, quedando inestable: en ese caso diríamos que la red está “confundida”, no es capaz de reconocer el estímulo, no recuerda. Una tercera posibilidad es que al cabo de unos pasos de evolución empiece a repetir periódicamente una secuencia definida de estados; con esta dinámica se han modelado ciertas excitaciones nerviosas que regulan acciones rítmicas y repetitivas; y se ha tratado de reproducir la memoria de secuencias temporales.

Como habíamos dicho, las neuronas se conectan todas entre sí, y consigo mismas, para empezar se le asigna a cada unidad el valor o estado correspondiente del patrón de entrada en cada ciclo se elige una neurona al azar y se calcula su activación (que coincide con su salida) según una función de umbral.

$$\text{out}_i \neq 1 \text{ si } \text{net}_i > q_i$$

$$\text{out}_i \neq 0 \text{ si } \text{net}_i \leq q_i$$

$$\text{net}_j = \sum_i w_{ij} \cdot \text{out}_i$$





Sea n el número de neuronas en la red, se utiliza una función de propagación hiperplana, es decir, el valor de red se calcula como el sumatorio de todas las entradas ponderadas, incluida la procedente de la misma unidad.

Se puede trabajar con cualquier valor de umbral para la función de activación, pero típicamente se usa el 0 como umbral, con la ventaja de simplificar las ecuaciones.

$$\text{out} \neq 1 \text{ si } \text{net} / > 0$$

$$\text{out} \neq 0 \text{ si } \text{net} / \leq 0$$

$$a_i^s = -\frac{1}{2} \sum_{j=1}^k w_{ij}^s$$

Otra posibilidad para calcular el umbral es utilizar un valor propio para cada unidad, dependiente de los pesos:

Por definición los recuerdos (ítems o patrones almacenados) son puntos fijos en la dinámica de la red (puntos de equilibrio), es decir, configuraciones que no cambian en el tiempo aunque se siga aplicando la regla de evolución. Para almacenar un recuerdo habrá que lograr que la presentación del patrón de entrada lleve a la red a alcanzar un punto fijo, esto se logrará mediante una determinada combinación de valores de los pesos de las conexiones.

Se habla también de las zonas o áreas de atracción para referirse a estados de activación que con una probabilidad alta (mayor de $\frac{1}{2}$) llevan a un determinado punto de equilibrio.

REDES DE FUNCIÓN DE BASE RADIAL (RBF)

Este tipo de redes se caracteriza por tener un aprendizaje o entrenamiento híbrido, la arquitectura de estas redes se caracteriza por la presencia de tres capas: una de entrada, una única capa oculta y una capa de salida, como se muestra en la figura E-8.



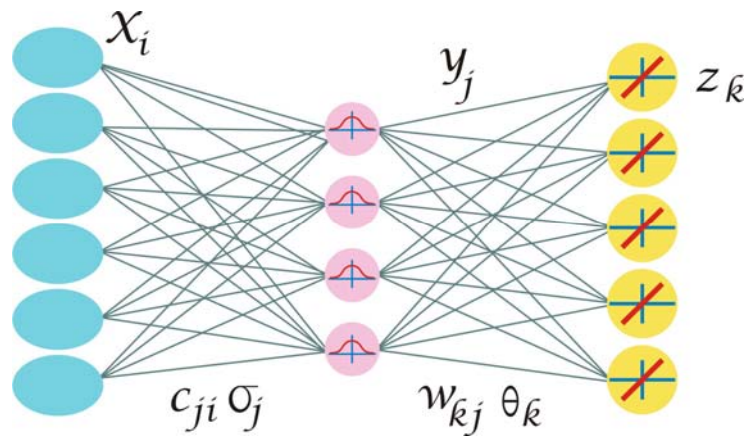


Figura E-8.- Arquitectura típica de una red de función base radial
Fuente: <http://www.gc.ssr.upm.es/inves/neural/ann2/anntutorial.html>

Aunque la arquitectura pueda recordar a la de un MLP, la diferencia fundamental está en que las neuronas de la capa oculta en vez de calcular una suma ponderada de las entradas y aplicar una sigmoide, estas neuronas calculan la distancia euclídea entre el vector de pesos sinápticos (que recibe el nombre en este tipo de redes de centro o centroide) y la entrada (de manera casi análoga a como se hacía con los mapas SOM) y sobre esa distancia se aplica una función de tipo radial con forma gaussiana, como se ilustra en la siguiente figura.

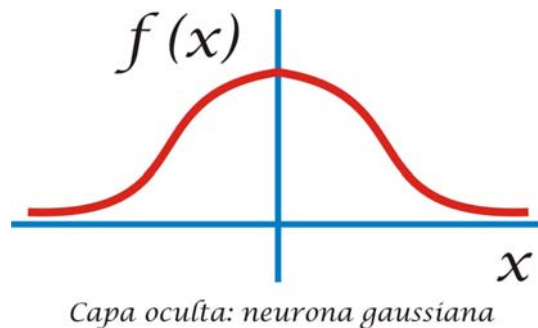


Figura E-9.- Forma funcional de una función tipo Gaussiana
Fuente: <http://www.gc.ssr.upm.es/inves/neural/ann2/anntutorial.html>

Para el aprendizaje de la capa oculta, hay varios métodos, siendo uno de los más conocidos el algoritmo denominado k-medias (k-means) que es un algoritmo no supervisado de clustering. k es el número de grupos que se desea encontrar, y se corresponde con el número de neuronas de la capa oculta, que es un parámetro que hay que decidir de antemano. El algoritmo se plantea como sigue:

1. Inicializar los pesos (los centros) en el instante inicial. Una inicialización típica es la denominada k-primas mediante la cual los k centros se hacen iguales a las k primeras muestras del conjunto de datos de entrenamiento $\{\mathbf{x}_p\}_{p=1..N}$

$$\mathbf{c}_1 = \mathbf{x}_1, \mathbf{c}_2 = \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{c}_N = \mathbf{x}_N.$$





2. En cada iteración, se calculan los dominios, es decir, se reparten las muestras entre los k centros. Esto se hace de la siguiente manera: Dada una muestra x_j se calcula las distancias a cada uno de los centros c_k . La muestra pertenecerá al dominio del centro cuya distancia calculada sea la menor
3. Se calculan los nuevos centros como los promedios de los patrones de aprendizaje pertenecientes a sus dominios. Viene a ser como calcular el centro de masas de la distribución de patrones, tomando que todos pesan igual.
4. Si los valores de los centros varían respecto a la iteración anterior se vuelve al paso 2, si no, es que se alcanzó la convergencia y se finaliza el aprendizaje.

Una vez fijados los valores de los centros, sólo resta ajustar las anchuras de cada neurona. Las anchuras son los parámetros sigma que aparecen en cada una de las funciones gaussianas y reciben ese nombre por su interpretación geométrica, dan una medida de cuando un muestra activa una neurona oculta para que de una salida significativa (ver figura E-10)

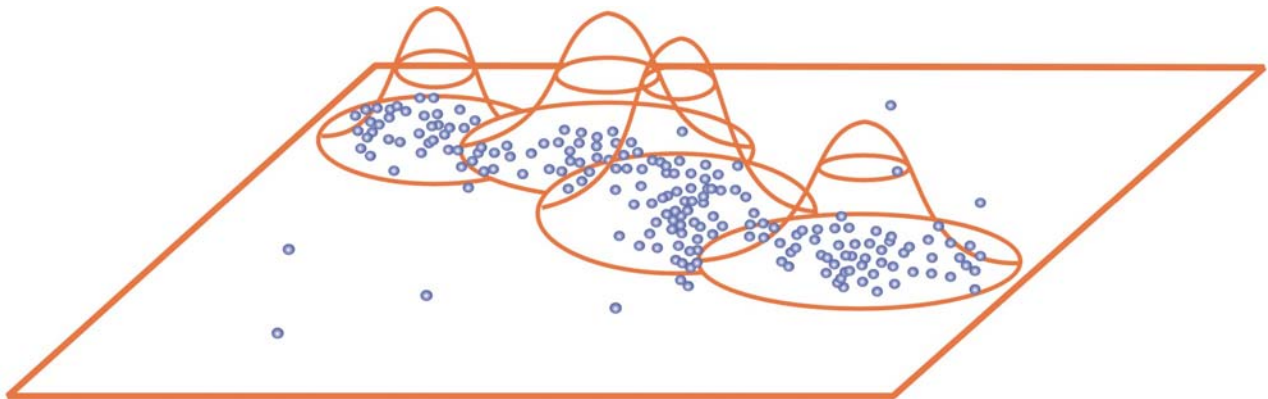


Figura E-10.- Centros en el espacio de las entradas

Fuente: <http://www.gc.ssr.upm.es/inves/neural/ann2/anntutorial.html>

Normalmente se toma el criterio de que para cada neurona se toma como valor sigma la distancia al centro más cercano. Finalmente, se entrena la capa de salida, el entrenamiento de esta capa se suele usar un algoritmo parecido al que se usa para la capa de salida del MLP. La actualización de los pesos viene dada por la expresión:

Actualización de los pesos de la capa de salida en una red RBF

$$z_k = \sum_j w_{kj} \phi(r_j) + \theta_k$$
$$\delta w_{kj}(t) = \epsilon (d_k - z_k) \phi(r_j)$$

Con este fin se suele presentar todos los patrones de la muestra de entrenamiento varias veces. Cada una de estas veces recibe el nombre de época.





REDES COMPETITIVAS

En las redes con aprendizaje competitivo (y cooperativo), suele decirse que las neuronas compiten (y cooperan) unas con otras con el fin de llevar a cabo una tarea dada. Con este tipo de aprendizaje se pretende que cuando se presente a la red cierta información de entrada, sólo una de las neuronas de salida de la red, o una por cierto grupo de neuronas, se active (alcance su valor de respuesta máximo). Por tanto las neuronas compiten para activarse quedando finalmente una, o una por grupo, como neurona vencedora y el resto quedan anuladas y siendo forzadas a sus valores de respuesta mínimos. La competición entre neuronas se realiza en todas las capas de la red, existiendo en estas redes neuronas con conexiones de autoexcitación (signo positivo) y conexiones de inhibición (signo negativo) por parte de neuronas vecinas. El objetivo de este aprendizaje es categorizar los datos que se introducen en la red, de esta forma las informaciones similares son clasificadas formando parte de la misma categoría y por tanto deben activar la misma neurona de salida. Las clases o categorías deben ser creadas por la propia red, puesto que se trata de un aprendizaje no supervisado a través de las correlaciones entre los datos de entrada.

A principios de 1959, Frank Rosenblatt creó su simple clasificador espontáneo, una red de aprendizaje no supervisado basado en el Perceptrón, el cual aprendía a clasificar vectores de entrada en dos clases con igual número de términos. A finales de los años 60's y principios de los 70's, Stephen Grossberg introdujo muchas redes competitivas que usaban inhibición lateral obteniendo buenos resultados. Algunos de los comportamientos útiles obtenidos por él, fueron la supresión del ruido, aumento del contraste y normalización de vectores.

En 1973, Christoph Von Der Malsburg introduce la regla del mapa de organización propia, que permitía a la red clasificar entradas en las cuales las neuronas que estuviesen en un vecindario cercano a la neurona ganadora, respondieran a entradas similares. La topología de esta red imitaba





de alguna forma las estructuras encontradas en la corteza visual de los gatos, estudiada por David Hubel y Torte Wiesel, su regla de aprendizaje generó gran interés, pero esta utilizaba un cálculo no local para garantizar que los pesos fueran normalizados, este hecho hacía este modelo biológicamente poco posible. Grossberg extendió el trabajo de Von Der Malsburg, redescubriendo la regla Instar, mostró que la regla Instar removi6 la necesidad de renormalizar los pesos, porque los vectores de pesos que aprendían a reconocer vectores de entrada normalizados, automáticamente se normalizarán ellos mismos. El trabajo de Grossberg y Von Der Malsburg enfatizó la posibilidad biológica de sus redes, otro exitoso investigador, Tuevo Kohonen ha sido también un fuerte proponente de las redes competitivas; sin embargo, su énfasis ha sido en aplicaciones para ingeniería y en descripciones de eficiencia matemática de las redes. Durante la década de los 70 Kohonen desarrolló una versión simplificada de la regla Instar.





Otra forma de aplicar este tipo de aprendizaje fue propuesta por Rumelhart y Zisper en 1985, quienes utilizaban redes multicapa dividiendo cada capa en grupos de neuronas, de tal forma que éstas disponían de conexiones inhibitorias con otras neuronas de su mismo grupo y conexiones excitadoras con las neuronas de la siguiente capa; en una red de este tipo, después de recibir diferentes informaciones de entrada, cada neurona en cada grupo se especializa en la respuesta a determinadas características de los datos de entrada. En este tipo de redes cada neurona tiene asignado un peso total (suma de todos los pesos de las conexiones que tiene a su entrada), el aprendizaje afecta sólo a las neuronas ganadoras (activas), en las que se redistribuye el peso total entre sus conexiones y se sustrae una porción de los pesos de todas las conexiones que llegan a la neurona vencedora, repartiendo esta cantidad por igual entre todas las conexiones procedentes de unidades activas, por tanto la variación del peso de una conexión entre una unidad i y otra j será nula si la neurona j no recibe excitación por parte de la neurona i (no vence en presencia de un estímulo por parte de i) y se modificará (se reforzará) si es excitada por dicha neurona.

RED DE KOHONEN

Existen evidencias que demuestran que en el cerebro hay neuronas que se organizan en muchas zonas, de forma que las informaciones captadas del entorno a través de los órganos sensoriales se representan internamente en forma de mapas bidimensionales. Por ejemplo, en el sistema visual se han detectado mapas del espacio visual en zonas del córtex (capa externa del cerebro), también en el sistema auditivo se detecta una organización según la frecuencia a la que cada neurona alcanza mayor respuesta (organización tonotópica). Aunque en gran medida esta organización neuronal está predeterminada genéticamente, es probable que parte de ella se origine mediante el aprendizaje, esto sugiere que el cerebro podría poseer la capacidad inherente de formar mapas topológicos de las informaciones recibidas del exterior, de hecho esta teoría podría explicar su poder de operar con





elementos semánticos: algunas áreas del cerebro simplemente podrían crear y ordenar neuronas especializadas o grupos con características de alto nivel y sus combinaciones, en definitiva se construirían mapas especiales para atributos y características. A partir de estas ideas Tuevo Kohonen presentó en 1982 un sistema con un comportamiento semejante, se trataba de un modelo de red neuronal con capacidad para formar mapas de características de manera similar a como ocurre en el cerebro; el objetivo de Kohonen era demostrar que un estímulo externo (información de entrada) por sí solo, suponiendo una estructura propia y una descripción funcional del comportamiento de la red, era suficiente para forzar la formación de los mapas, este modelo tiene dos variantes denominadas LVQ (Learning Vector Quantization) y TPM (Topology Preserving Map) o SOM (Self Organizing Map).





El aprendizaje en el modelo de Kohonen es de tipo Off-line, por lo que se distingue una etapa de aprendizaje y otra de funcionamiento. En la etapa de aprendizaje se fijan los valores de las conexiones (feedforward) entre la capa de entrada y la salida. Esta red utiliza un aprendizaje no supervisado de tipo competitivo, las neuronas de la capa de salida compiten por activarse y sólo una de ellas permanece activa ante una determinada información de entrada a la red, los pesos de las conexiones se ajustan en función de la neurona que haya resultado vencedora. Durante la etapa de entrenamiento, se presenta a la red un conjunto de informaciones de entrada (vectores de entrenamiento) para que ésta establezca en función de la semejanza entre los datos las diferentes categorías (una por neurona de salida), que servirían durante la fase de funcionamiento para realizar clasificaciones de nuevos datos que se presenten a la red. Los valores finales de los pesos de las conexiones entre cada neurona de la capa de salida con las de entrada se corresponderán con los valores de los componentes del vector de aprendizaje que consigue activar la neurona correspondiente. En el caso de existir más patrones de entrenamiento que neuronas de salida, más de uno deberá asociarse con la misma neurona, es decir pertenecerán a la misma clase.

En este modelo el aprendizaje no concluye después de presentarle una vez todos los patrones de entrada, sino que habrá que repetir el proceso varias veces para refinar el mapa topológico de salida, de tal forma que cuantas más veces se presenten los datos, tanto más se reducirán las zonas de neuronas que se deben activar ante entradas parecidas, consiguiendo que la red pueda realizar una clasificación más selectiva. Un concepto muy importante en la red de Kohonen (ver figura E-11) es la zona de vecindad, o vecindario alrededor de la neurona vencedora i^* , los pesos de las neuronas que se encuentren en esta zona a la que se le dará el nombre de $\mathcal{X}(q)$, serán actualizados junto con el peso de la neurona ganadora, en un ejemplo de aprendizaje cooperativo.





El algoritmo de aprendizaje utilizado para establecer los valores de los pesos de las conexiones entre las N neuronas de entrada y las M de salida es el siguiente:

1. En primer lugar se inicializan los pesos (w_{ij}) con valores aleatorios pequeños y se fija la zona inicial de vecindad entre las neuronas de salida.
2. A continuación se presenta a la red una información de entrada (la que debe aprender) en forma de vector $p = (p_1, p_2, \dots, p_n)$, cuyas componentes p_i serán valores continuos.
3. Puesto que se trata de un aprendizaje competitivo, se determina la neurona vencedora de la capa de salida, esta será aquella i cuyo vector de pesos w_i (vector cuyas componentes son los valores de los pesos de las conexiones entre esa neurona y cada una de las neuronas de la capa de entrada) sea el más parecido a la información de entrada p (patrón o vector de entrada). Para ello se calculan las distancias o diferencias entre ambos vectores, considerando una por una todas las neuronas de salida, suele utilizarse la distancia euclídea o la siguiente expresión:

$$d_i = \sum_{j=1}^N (p_j - w_{ij})^2 \quad 1 \leq i \leq M$$

Donde:

- ➔ p_j : Componente j -ésimo del vector de entrada
- ➔ w_{ij} : Peso de la conexión entre la neurona
- ➔ j de la capa de entrada y la neurona i de la capa de salida.



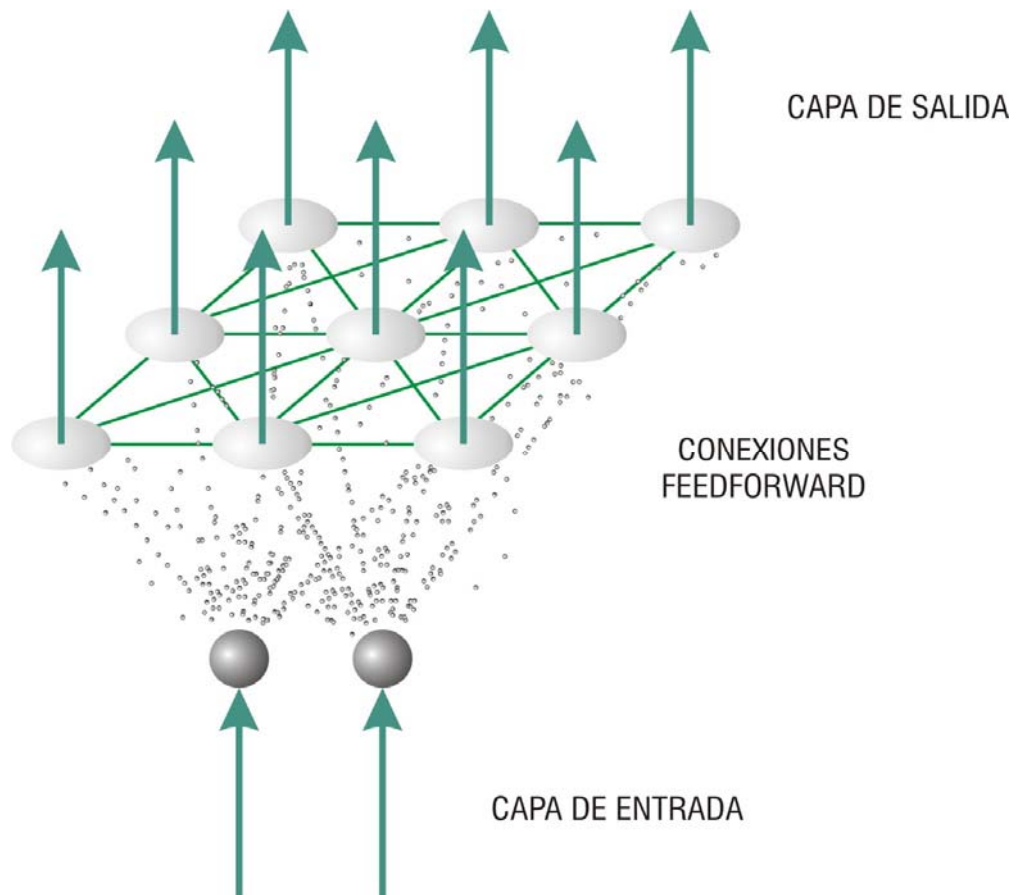


Figura E-11.- Conexiones de una red de Kohonen

Fuente: <http://ingenieria.udea.edu.co/investigacion/mecatronica/mecronics/redes.htm>

- Una vez localizada la neurona vencedora (i^*), se actualizan los pesos de las conexiones entre las neuronas de entrada y dicha neurona, así como los de las conexiones entre las de entrada y las neuronas vecinas de la vencedora, en realidad lo que se consigue con esto es asociar la información de entrada con una cierta zona de la capa de salida. Esto se realiza mediante la siguiente ecuación

$$w_i(q) = w_i(q-1) + \alpha(q)(p_i(q) - w_i(q-1)) \text{ para } i \in \mathcal{X}(q)$$

El tamaño de $\mathcal{X}(q)$ se puede reducir en cada iteración del proceso de ajuste de los pesos, con lo que el conjunto de neuronas que pueden considerarse vecinas cada vez es menor como se observa en la figura E-12, sin embargo en la práctica es habitual considerar una zona fija en todo el proceso de entrenamiento de la red.



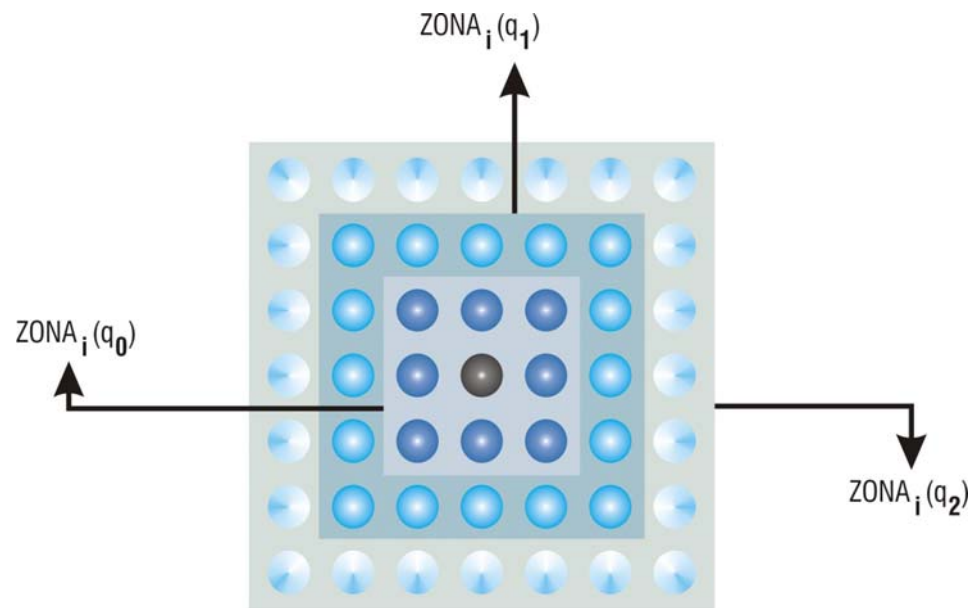


Figura E-12.- Posible evolución de la vecindad en una red de Kohonen

Fuente: <http://ingenieria.udea.edu.co/investigacion/mecatronica/mectronics/redes.htm>

El término $\alpha(q)$ es el coeficiente de aprendizaje o parámetro de ganancia, con un valor entre 0 y 1 el cual decrece con el número de iteraciones (q) del proceso de entrenamiento, de tal forma que cuando se ha presentado un gran número de veces todo el juego de patrones de aprendizaje su valor es prácticamente nulo, con lo que la modificación de los pesos es insignificante. Para hallar α suele utilizarse:

$$\alpha(q) = \frac{1}{q} \quad \alpha(q) = \alpha_1 \left(1 - \frac{q}{\alpha_2} \right)$$

Siendo α_1 un valor de 0.1 ó 0.2 y α_2 un valor próximo al número total de iteraciones del aprendizaje, que por lo general se toma como 10000 para esta red.

5. El proceso debe repetirse, volviendo a presentar todo el juego de patrones de aprendizaje p_1, p_2, \dots, p_n hasta obtener la salida deseada.





En definitiva lo que hace una red de Kohonen es realizar una tarea de clasificación, puesto que la neurona de salida activada ante una entrada representa la clase a la que pertenece dicha información de entrada, además ante otra entrada parecida se activa la misma neurona de salida, u otra cercana a la anterior debido a la semejanza entre las clases, así se garantiza que las neuronas topológicamente próximas sean sensibles a entradas físicamente similares; por esta causa la red es especialmente útil para establecer relaciones desconocidas previamente entre conjuntos de datos



GLOSARIO DE TÉRMINOS

Administración: Función cuya finalidad es la determinación de los objetivos geniales, políticas y estructuras de la empresa.

Algoritmo: Método para deducir la solución de un problema empleando los resultados de cada ciclo para ajustar el ciclo siguiente.

Análisis de operaciones: Proceso de investigación relativo a las operaciones en el trabajo industrial o de oficina, generalmente el proceso que lleva a la estandarización de las operaciones.

Anglicismo: Giro o modo de hablar propio de la lengua inglesa.

Automatización: Mecanización en alto grado para la producción de bienes y servicios.

Capa de entrada: Las neuronas de la capa de entrada, reciben los datos que se proporcionan a la RNA para que los procese.

Capa de salida: Esta capa proporciona la respuesta de la red neuronal. Normalmente también realiza parte del procesamiento.

Capas ocultas: Estas capas introducen grados de libertad adicionales en la RNA. El número de ellas puede depender del tipo de red que estemos considerando. Este tipo de capas realiza gran parte del procesamiento.

Comunicaciones: Los sistemas que transmiten la información a los lugares adecuados en forma oportuna.

Condiciones de trabajo: Factores tales como iluminación, temperatura, humos, seguridad, ruido, polvo, etc.

Costo: Cantidad que se da o se paga por algo.

Demora: Espera, un lapso de tiempo.

Departamento: Unidad establecida en una organización.

Diagrama de flujo: Representación gráfica de una sucesión de hechos u operaciones en un sistema, como el que refleja una cadena de montaje de automóviles.

Dimencionamiento: Pertenciente o relativo a la dimensión.

Dirección: Arte y ciencia de dirigir y controlar el esfuerzo humano.

Distribución de la planta: La disposición física de las instalaciones.





Distribución: Disposición de elementos en una zona o área.

Edificios: Las estructuras que acogen las instalaciones.

Elemento: Cada uno de los componentes de un conjunto.

Enfoque: Dirigir la atención o el interés hacia un asunto o problema desde unos supuestos previos, para tratar de resolverlo acertadamente.

Entrada (computadora): Información o grupo de datos que ha de ser procesada por la computadora.

Espera: Periodo en el cual las condiciones de trabajo, no permiten o no requieren la inmediata ejecución.

Estándar: Que sirve como tipo, modelo, norma, patrón o referencia.

Existencias: Todos los materiales, piezas, suministros, herramientas y productos acabados, etc.

Fabril: Perteneciente o relativo a las fábricas o a sus operarios.

Fatiga: disminución en la capacidad o voluntad de trabajar.

Flujo de material: Movimiento progresivo del material pieza o productos hacia el fin de un proceso de fabricación.

Generatrices: Dicho de una línea o de una figura, que por su movimiento engendra, respectivamente, una figura o un sólido geométrico.

Hardware: Elementos físicos de una computadora.

Implementación: Realización de los pasos o medidas necesarias para implementar una técnica.

Instalaciones: Conjunto de técnicas, procedimientos y equipos que están montándose o empleándose en una empresa.

Ítems: Cada uno de los elementos que forman parte de un dato.

Itinerario: Ruta que se sigue para llegar a un lugar.

Localización: Fijar, encerrar en límites determinados.

Manejo de materiales: La forma en que se trasladan los materiales dentro de la fabrica.

Manipulación: Operar con las manos o con cualquier instrumento.

Mano de obra: Personal con poca o ninguna responsabilidad de mando, cuya principal misión es la producción de materiales, bienes o servicios.

Máquina: Conjunto de aparatos combinados para recibir cierta forma de energía y transformarla en otra más adecuada, o para producir un efecto determinado.

Materia prima: La que una industria o fabricación necesita para sus labores, aunque provenga, como sucede frecuentemente, de otras operaciones industriales.

Método: Procedimientos o sucesión de movimientos utilizados por un o más individuos para realizar una determinada operación o tarea.

Modelaje: Configurar o conformar algo no material.

Modelo: Representación de la realidad para facilitarle análisis, examinación y comprobación.





Mover: Elemento básico empleado cuando el propósito fundamental de una operación es el transporte de un objeto a su destino.

Operación: Cambio intencionado en las características físicas o químicas de un objeto, que se trabaja para darle forma deseadas de tamaño u otros detalles.

Organización: Proceso de determinación de las actividades o porción necesaria de una empresa.

Planear: Trazar o formar el plan de una obra.

Planificación de la producción: Preparación de las hojas de ruta y de los programas de fabricación.

Planificación: Procedimiento para determinar el curso de un proceso determinado para cumplir un fin determinado.

Problema de asignación: Caso especial del problema de programación matemática relacionada con solución óptima de recursos.

Problema: Conjunto de hechos o circunstancias que dificultan la consecución de algún.

Procedimiento: Método de ejecutar algunas cosas.

Proceso: Serie prevista de acciones u operaciones que hacen avanzar un material desde una fase de realización a otra.

Producción: Fabricación de artículos.

Productividad: Tasa de producción real por unidad de tiempo trabajado.

Recogida: Acción y efecto de recoger, juntar personas o cosas dispersas.

Reograma: Llamado así por analogía con la hidráulica y es la representación gráfica que indica como fluye o circula un producto, o se desarrolla un fenómeno, a través de un sistema o una serie de sistemas operativos.

Revisión: Comprobación general o investigación de una disposición.

Servicios: La disposición de elementos tales como calor, luz, electricidad y desperdicios.

Símbolos de diagrama de proceso: Signos utilizados en el diagrama de procesos para representar los sucesos que se producen durante el proceso.

Sistema: Conjunto de reglas o principios sobre una materia racionalmente enlazados entre sí.

Software: Conjunto de programas, instrucciones y reglas informáticas para ejecutar ciertas tareas en una computadora.

Supervisión: Ejercer la inspección superior en trabajos realizados por otros.

Therblig: Segmento abreviado de un elemento de trabajo que describe las actividades sensoriomotoras.

Tiempo muerto: Intervalo de tiempo correspondiente a la suspensión de las operaciones debida a descompostura de la herramienta o maquina, falta de material, etc.

Tipo: Norma, modelo o criterio aceptado o establecido.

Transporte: Movimiento de un objeto de un lugar a otro.

