

# ERGONOMIA

(Hacia una nueva concepción de la Ingeniería Industrial).

Por Ingeniero Jorge Forcadas  
Jefe de Planeación de la Universidad Nacional

**Nota:** Este artículo corresponde a una conferencia dictada por el autor en el Aula Máxima de la Facultad de Minas, con motivo de los 15 años de la carrera de Ingeniería Administrativa.

## O. ERGONOMIA. DEFINICIONES:

Etimológicamente la palabra Ergonomía se deriva de las voces griegas: "ergon" — Trabajo y "Nomos" — Ley. Se trata de un neologismo creado para describir los estudios de los sistemas integrados por hombres y máquinas.

La palabra fue creada por el sicólogo británico K.F.H. Murrell en 1949, para distinguir un conjunto de estudios emprendidos en la década anterior y que se referían principalmente a los aspectos de anatomía, fisiología y sicología experimental, del hombre dentro de la situación de trabajo. Estos aspectos todavía forman parte básica e importante de la Ergonomía; pero gradualmente se ha ido ampliando su campo de acción, englobando todos los aspectos integrados en los sistemas complejos del trabajo y enmarcándolos dentro de las estructuras que los cobijan.

## 1. BASES CIENTIFICAS:

La Ergonomía se ocupa de problemas fundamentalmente **multidisciplinarios**. En los sistemas estudiados convergen tal cúmulo de factores, que precisan el aporte de ciencias muy disímiles entre sí, constituyendo un verdadero crisol donde se amalgaman buena parte de las áreas importantes del conocimiento humano:

**1.1 Fisiología del Trabajo:** Gastos de energía. Relaciones entre trabajo y energía. Organización de tareas. Pausas de recuperación. Nutrición y vestido.

**1.2 Antropometría:** Dimensiones del cuerpo. Diseño del puesto de trabajo. Diseño de productos.

**1.3 Biofísica:** Diagramas de fuerza en el trabajo humano. Funciones musculares. Cargas mecánicas en articulaciones, espalda, esqueleto, etc.

**1.4 Sicología Diferencial:** Aptitudes. Factores motivacionales. Factores causantes de fatiga.

**1.5 Sicología del Trabajo:** Adiestramiento. Reflejos condicionados. Controles, palancas, diales, escalas, etc.

**1.6 Investigación Operativa y Sistemas:** Estudios de optimización de sistemas complejos. Estudios estadísticos de la población. Teoría de colas y simulación.

**1.7 Higiene Industrial:** Salubridad en general. Polvos, gases, condiciones sanitarias, etc.

**1.8 Seguridad Industrial:** Accidentes mecánicos, accidentes eléctricos, incendios, explosivos, etc.

**1.9 Factores Ambientales:** Iluminación, temperatura, ruidos, vibraciones, cromaticismo, etc.

**1.10 Sociología:** Estructuras que encierran los sistemas de trabajo. Análisis de grupos.

## **2. ESBOZO HISTORICO:**

**2.1 Concepción del trabajo humano a través de los tiempos:** No ha sido sino en épocas recientes cuando se ha elevado a categoría de estudio científico las consecuencias del trabajo humano. Parece existir un atávico desprecio hacia las labores manuales, destinadas a ser llevadas a cabo por esclavos o siervos. El régimen de esclavitud imperante en la antigüedad y apenas enmascarado por el de servidumbre de la Edad Media, propiciaba tal desdén. La Iglesia Cristiana contribuyó en parte a hacer ver con horror el trabajo, cuando lo presentaba como "castigo divino". Y si bien por otra parte, manifestaba que era una actividad que dignificaba al hombre ("ora et labora") no parecía que fuera necesario que esta dignificación alcanzara la nobleza y al alto clero. Como consecuencia de lo anterior, la mano de obra siempre fue barata y, en general, fácilmente reemplazable, por lo cual no tenía objeto dedicar ningún esfuerzo intelectual a estudiar tal cuestión.

**La aparición del maquinismo y su consecuencia de la Revolución Industrial,** a finales del siglo XVIII, principios del XIX, no mejoró las condiciones anteriores.

La nueva clase proletaria vivía en un régimen que difería poco, nada o era peor, que el de la servidumbre. La cantidad de problemas que se plantearon en aquel entonces, totalmente inéditos eran un reto al intelecto humano, soberbiamente encastillado en los conocimientos supuestamente situados en los límites del saber y heredados del Siglo de las Luces.

**La significación del ser humano como factor vital en el sistema Hombre - Máquina,** fué quizás la cuestión más importante que se debía haber planteado. Sin embargo tal importancia no se hizo patente en la época, ni siquiera un siglo después.

Pero las presiones de las luchas sociales desarrolladas a lo largo del Siglo XIX, las reivindicaciones obreras conseguidas tenaz y arduamente por el incipiente movimiento sindical y sus consecuencias en legislaciones algo más humanas, cambiaron las reglas de juego a principio de este siglo. El factor humano pasó a ser un costo de producción apreciable e incómodo. El sector patronal se vió obligado a adoptar nuevas estrategias que aseguraran rentabilidades del capital del mismo orden al que estaban habituados. Hubo que atender a la extraña variable que se había introducido en los mecanismos de producción y así nació la Administración Científica y la Ingeniería Industrial.

**2.2 La Administración Científica del Trabajo:** Los medios intelectuales que regían las empresas a principios de siglo representados, por Charles Babage, Henri Fayol, Federic Taylor, el matrimonio Gilbreth, Bedaux y otros muchos, se polarizaron definitivamente hacia la resolución de problemas técnicos. Su formación era estrictamente determinística, eran producto de una Ciencia cuya premisa principal era la del Determinismo. Curiosamente, estos hechos ocurrían en un momento en el cual el que parecía sólido edificio determinista empezaba a presentar unas grietas que no podían ser ocultadas por el saber de la época. Boltzmann, el matrimonio Curie, Plank, Riemann y tantos otros científicos que enterraban una filosofía, seguro sabían muy poco de Taylor y su escuela, pero más seguro resulta todavía que estos últimos ignoraban totalmente la existencia de los primeros.

La Administración autodenominada Científica, empezó a considerar dentro de los factores de producción, el humano, considerándolo como una variable más y dándole un tratamiento mecanicista totalmente análogo al dado a las máquinas.

La serie de principios que se enunciaron, principalmente a través de Taylor<sup>(1)</sup> se ajustaban estrictamente a las premisas que rigen la Mecánica Clásica newtoniana. De tales principios vale la pena destacar por su importancia y supervivencia, la División del Trabajo y el Estudio de Movimientos y Tiempos, o bien lo que en conjunto originó la Ingeniería Industrial.

Son técnicas lo bastante conocidas para que nos extendamos en ellas. Simplemente recordar que la División del Trabajo consiste en parcelar una tarea más o menos compleja en varias tareas tan simples como sean posibles asignando cada una de ellas a operarios distintos. Tales tareas se analizan dividiéndolas en movimientos elementales, eliminando los juzgados inútiles, examinando la mejor secuencia y eligiendo los más cortos, reconstruyendo luego la actividad como si se tratara de un rompecabezas. Finalmente se asigna un tiempo típico o "standard" de ejecución, sea por algún sistema de medición, sea por medio de tablas que existen para ello.

Aparte de la intuitiva resistencia sindical a éstas técnicas, que llevó a Taylor hasta una comisión investigadora de la Cámara de Representantes de los E.E.U.U. debido a las huelgas que jalonañan su implantación, de forma temprana, muchos fisiólogos, médicos en general, sicólogos, sociólogos y hasta ingenieros, combatieron estos principios como ilusoriamente mecanicistas.

Las objeciones más fuertes proceden de los campos fisiológico, sicológico y técnico-científico.

Las secuencias de movimientos elementales, supuestas óptimas desde un punto de vista de rapidez, no lo son desde un punto de vista fisiológico ni aún convenientes en algún caso. La misma descomposición de movimientos es de validez más que dudosa, ya que cualquier movimiento está plenamente influido por su anterior y posterior. No tiene sentido estudiarlos por separado. Los músculos tienen un tiempo óptimo de contracción y relajación, al cual intenta automáticamente adaptarse el accionar humano. Cualquier vulneración a este ritmo normal, causa ineficiencia biológica, contracciones demasiado prolongadas, excesivamente rápidas o incluso lentas suponen un defase entre la oxigenación de la sangre y los requerimientos

energéticos de la tarea. Aparece el temible "Trabajo estático" y su secuela de lacticinas en los músculos. Otro cuestionamiento fisiológico fuerte, se deriva de la energía mecánica que requiere una labor determinada, cuestión jamás atendida en aquel entonces. Un ejemplo clásico de la Administración Científica, el **cargador de barras de Taylor**, demuestra que una "racionalización" de su tarea hizo aumentar su rendimiento diario de 300 barras a 1.186 barras, o sea casi se triplicó la producción. Sin embargo, un cuarto de siglo, después, el Instituto Max Plank, analizó la tarea desde un punto de vista energético. Se concluyó que el gasto diario en Kcal. ascendió a 6.955 después de la taylorización, lo que se adentra decididamente al terreno deportivo, ya que valores cercanos a las 4.000 kal. se consideran al alcance de poca gente. Claro que el protagonista de la historia, el cargador "Smith", era llamado por sus compañeros "el gorila", posiblemente se trataba de una persona de excepcionales dotes físicas. Taylor sostenía que cada trabajo debía ser ejecutado por la persona físicamente más idónea para el mismo y de ahí la defensa de su "gorila" para cargar barras. Pero ello, además de exemplificar la filosofía básica de la Administración Científica, o sea la de la adaptación del hombre a la máquina o lugar de trabajo, plantea un problema ético sumamente importante para el Ingeniero Industrial.

Se trata de los problemas de selección de personal. Debemos seguir seleccionando especímenes aptos para determinadas circunstancias laborales previamente diseñadas o lo que es equivalente adaptando el hombre al trabajo?. Seguimos contando con el ejército de reserva que nos proporciona un almacén inagotable de personas aptas para trabajar en condiciones penosas?. O bien debemos concientizarnos de que nos enfrentamos, con una población mal nutrida, con condiciones sanitarias deficientes, con defectos congénitos, con unas características antropológicas deficitarias y que esta masa tiene derecho al trabajo?. Debemos diseñar los puestos para unos pocos elegidos o para el joven, la vieja y el subdotado?. Los estudios fisiológicos indican que los parámetros antropométricos y deficiencias en los sentidos tienen una muy débil correlación entre ellos, o sea que en principio podríamos concluir que se trata de variables estadísticamente independientes. Por lo tanto es una buena hipótesis admitir que los porcentajes de exclusión por selección rigurosa de la población son aditivos. Así, un trabajo diseñado para una persona que tenga una buena visión, no presente problemas de columna vertebral, tenga fuerza en el puño relativamente alta para manejar determinados controles, tenga una buena capacidad aeróbica y sepa leer y escribir, supondrá un conjunto aditivo de exclusión que puede llegar perfectamente al 90%. El puesto está destinado a un 10% de la población trabajadora.

Las objeciones sicológicas no son menos fuertes. Resulta humanamente imposible y totalmente nocivo que una persona realice una tarea repetitiva, siempre exactamente siguiendo los mismos movimientos elementales. El sentimiento creciente de robotización conduce a neurosis y estados de angustia de efectos incalculables. Un estudio bastante reciente de WISNER ergonomista británico radicado en Francia, consistía en investigar si un ruido significativo, conversación, por ejemplo, contar un chiste, tenía efecto sobre el rendimiento y calidad de trabajo en una industria electrónica, con respecto a un ambiente prácticamente insonoro. Se concluyó que el ruido significativo (muy debajo del que podría considerarse nocivo) disminuía un poco la calidad y el rendimiento en las tareas de control. En todo caso la disminución era estadísticamente significativa. Se coincidía con las recomenda-

ciones de Taylor en su "Estudio de las controladoras de bolas para rodamiento - 1911" en el sentido de: "Colocar las controladoras lejos una de la otra para que no puedan cómodamente hablar mas entre sí en tanto estén trabajando".

Pero una investigación sicosociológica más profunda sobre la manera en que las operarias especializadas de la industria electrónica mencionada antes, vivían su jornada de trabajo, mostró que en las tareas monótonas, el aislamiento conducía a fenómenos sicopatológicos de divagación mental y de depresión y que la conversación era un potente medio para eliminar tales inconvenientes<sup>(2)</sup>. Estudios anteriores<sup>(3)</sup>, habían constatado que obreros de la industria textil y de las cadenas de montaje de la industria automotriz consideraban un inconveniente grave de su trabajo la dificultad de cambiar algunas palabras con sus camaradas.

Más interrogantes para el Ingeniero Industrial. **Debemos sacrificar el intocable concepto de productividad?** Debemos seleccionar un tipo de humano inmune a la neurosis?

Finalmente, pueden criticarse determinados aspectos del Estudio de Movimientos y Tiempos, desde un punto de vista técnico-científico. En primer lugar la fijación de tiempos de tareas es cuestión vital para los operarios pues determina su salario y el monto de sus incentivos.

Empleando cualquier sistema de medición se obtienen siempre infinidad de valores diferentes. Sea en una misma persona, sea en personas diferentes. Múltiples y minúsculas causas de variación, así lo determinan. Dentro de la distribución de estos valores (que suele aceptarse es normal o de GAUSS), debe fijarse un valor único que será asignado para la tarea. Este es el valor llamado "normal", o sea el valor tal que debería ajustarse a cierto operario asimismo hipotéticamente "normal". Jamás ha habido acuerdo en fijar esta supuesta normalidad y ello generó una tediosa discusión patronal-sindical, no acabada hoy en día. Mientras Taylor y sus seguidores intentaban fijarla en el extremo de la curva de los tiempos reducidos, con la reflexión de que "si alguien puede hacerlo, todo el mundo debe hacerlo", pasando por la postura sindical que quería fijarla al otro extremo" puesto que así la mayor parte de los operarios pueden alcanzar o reducir el tiempo", hasta la opinión de los eclécticos, que naturalmente no satisfacía a nadie, que pugnaban por centralizar el tiempo. Esta bizantina discusión, cualquier estudiante algo avezado en Matemáticas sabe que no tiene ningún sentido.

El error estriba en querer utilizar una variable aleatoria, como una variable determinística. Ello naturalmente es una imposibilidad matemática y el hacerlo un error imperdonable técnico. A lo anterior debe añadirse otra circunstancia que acaba de complicarla: la fatiga creciente que acumula un operario al desarrollar una tarea.

Fué éste un asunto en el que se estrellaron lamentablemente los teóricos de la Administración Científica. En un principio intentaron ignorarla. Cuando se vió que ello no era posible, se editaron unas tablas seudocientíficas en que se daban porcentajes que aumentaban los tiempos medidos, llamados "Complementos para fatiga".

Pero no es esta una solución satisfactoria ni mucho menos. En primer lugar, tales porcentajes son totalmente estimativos sin ninguna base firme que los justifique y su aplicación mas estimativa o subjetiva aún. En segundo lugar, no podemos estar seguros de que el tiempo de complemento que suponen sea realmente empleado por el operario para recuperarse de su fatiga. Como siempre existe un sistema de primas relacionado con la producción, es factible que este tiempo adicional sea empleado por el operario para aumentar su producción, perdiendo de esta forma el complemento, su razón de ser como protector de la salud del operario. Para ejemplificar la imprecisión en que se mueve la Ingeniería Industrial en este campo, se puede citar a Alford que afirma en su clásico Manual de la Producción: "No hay en la actualidad ningún medio satisfactorio de medir la fatiga, salvo en términos de descenso de la producción logrado con el trabajo". Esta posición resulta muy poco científica e incluso extraña de que la sostengan ingenieros. En efecto, si se somete un metal a unos esfuerzos excesivos ("se fatiga el metal" en términos de ingeniería), los efectos visibles en su estructura se harán patentes cuando ya se hayan producido daños irreparables en el mismo. La máxima velocidad (producción) de un automóvil es precisamente la que desarrolla cuando va forzado, si se mantiene durante mucho tiempo a esta velocidad alguna pieza se deteriora. El descenso de producción llega cuando se ha producido algún daño, que en un automóvil puede ser más o menos de fácil reparación pero, posiblemente en un obrero adquiera caracteres más graves.

Las presiones motivadoras son definitivas en este aspecto. Decir que un obrero que está manteniendo un ritmo de producción muy alto con el afán de solucionar un problema familiar imperativo no acusa fatiga, es cerrar los ojos a la realidad. También debe dudarse de la metodología científica usada en la génesis de las leyes o principios de la Administración Científica. El caso del cargador Smith ya es válido como ejemplo de sacar consecuencias generales de una muestra pequeña y no descriptiva de la población.

Las leyes sobre paleo de Taylor (1911) fueron establecidas sobre dos obreros "excelentes paleadores cualificados" y las áreas de trabajo de Barnes (1937) sobre medidas tomadas a 30 estudiantes de la Universidad de Iowa.

Si queremos establecer más interrogantes a los Ingenieros Industriales, podemos por ejemplo preguntarnos si estamos dispuestos a aplicar leyes científicas que tienen muy poco de científico o bien si debemos emprender tratamientos matemáticos que chocan con las enseñanzas básicas de los profesores de Estadística para citar a alguno.

**2.3. La Aparición de la Ergonomía.** Como hemos dicho antes, hubo una reacción temprana contra los principios de la Administración Científica. Sin embargo, estas fuerzas opuestas tuvieron muy poco éxito. Fueron barridas por no tener una alternativa que fuera equivalente a la enorme eficacia la A. C. o bien fueron absorbidas por el mismo sistema como una técnica adicional, tal como pasó con el movimiento de Relaciones Humanas que pasó a ser una estrategia gerencial mas.

Más solidez, por su indudable contenido científico, fueron las investigaciones iniciadas en la década de los años treinta en el **Instituto Max Plank** acerca del problema de trabajo-energía. Esta es la fecha que puede darse históricamente como para el nacimiento de la Ergonomía. Muy poco después Suecia se ocupó del problema en el **Institutionen for Skogsteknik**, esencialmente, enfocado hacia trabajos forestales, pese que pronto se extendió sus conclusiones a todo tipo de actividad. También a esta institución le cabe el honor de ser la primera en publicar una revista periódica especializada: **Ergonomi och Produktionsteknik**.

Durante la **Segunda Guerra Mundial en Inglaterra** pero especialmente en los EE. UU., se hizo evidente que el potencial de los artefactos bélicos recién creados por científicos e ingenieros no era a menudo aprovechado en su totalidad debido a las deficiencias del operador militar. Los años de 1942 ó 1943, pueden darse como fecha del nacimiento de la Ingeniería Humana en los EE. UU., puesto que se creó una división con este nombre en la Flota de aquel país. Ello era equivalente a lo que hoy llamaríamos Ergonomía de Diseño.

En 1949 se creó una Sociedad Británica de Investigaciones Ergonómicas y posteriormente se han creado sociedades similares en casi todos los países europeos y Japón. La Sociedad de Factores Humanos de EE. UU. es una organización sinónima. En 1961 se formó una Asociación Internacional de Ergonomía, junto con el Primer Congreso Internacional de Ergonomía que se llevó a cabo en Estocolmo. Se han celebrado congresos posteriores en: Dortmund, Birmingham y Estrasburgo.

En Latinoamérica los estudios acerca de la Ergonomía han sido menos intensos o divulgados. Es relativamente reciente el interés que se ha demostrado. Chile, Argentina y México son los países que de forma más temprana, fuera por iniciativa oficial, fuera por iniciativa privada, se han ocupado del tema y han adelantado investigaciones serias. Colombia también ha demostrado interés y fue precisamente en el **Tercer Congreso Interamericano de Seguridad Industrial, celebrado en Bogotá, en Septiembre de 1969**, donde se acordó conceder un prioritario interés a los estudios ergonómicos, si bien parece ser que tal recomendación no surtió mucho efecto. Son de destacar en el país, las investigaciones llevadas a cabo en la Universidad del Cauca con el concurso de una misión sueca.

### 3. PROPOSITOS DE LA ERGONOMIA:

El propósito de la Ergonomía en síntesis es el de conseguir una perfecta adaptación del trabajo al hombre, incluyendo los aspectos físicos y psicológicos. Detallando un poco más:

- Seguridad.
- Salud.
- **Actitudes hacia las condiciones de trabajo** en el sentido estricto, por ejemplo: problemas de comodidad y fatiga, etc.
- **Actitudes hacia las condiciones sociológicas del trabajo**: problemas de motivación, satisfacción, dignidad, etc.
- **Exigencias del trabajo en relación con las habilidades humanas**; es decir, pro-

blemas de las facilidades de trabajo para hombres y mujeres, jóvenes y ancianos, personas mayores, personas impedidas por cualquier motivo y otros grupos de la población.

— Sin vulnerar ningún supuesto anterior el rendimiento en el trabajo aprovechando al máximo el esfuerzo y la habilidad humanas.

**Diseño de los productos**, de forma tal que se integren armónicamente a la sociedad. Entre todos estos propósitos podríamos distinguir unos a los que se podría denominar **Ergonomía interna**, o sea la que concierne a un sistema cerrado dentro del marco de la Empresa.

Dentro del mismo, existe una Ergonomía de diseño del puesto de trabajo, equivalente a la Ingeniería Humana. Pero existe otra **Ergonomía de diseño**, la del producto, que se ha desarrollado de forma increíble en los últimos diez o doce años. Naturalmente, tal actividad trasciende del marco de la empresa y tiene puntos muy concomitantes con la Ecología.

En efecto, cada vez más se producen aproximaciones entre **Ergonomía y Ecología**, de tal suerte que no es difícil augurar un próximo y fuerte **maridaje, muy lógico por otra parte**.

#### **4. LAS RELACIONES ENTRE LOS CONOCIMIENTOS CIENTÍFICOS ERGONÓMICOS Y LA REALIDAD DEL TRABAJO:**

A casi 40 años de los primeros balbuceos de la **Ergonomía**, nos encontramos enredados en una reflexión común sobre los límites del estudio experimental o sobre la mejor manera de acercarnos a los problemas ergonómicos reales y resolverlos.

Los problemas de Ergonomía preocupan al experto, al investigador y al profesor.

Los diagnósticos dados por los **expertos**, no se desarrollan de una forma sistemática, puesto que el estudio de fenómenos aún estables por largos períodos permiten la germinación lenta de hipótesis y de modelos.

También durante estas décadas la **investigación** ha mostrado las posibilidades de aplicación del saber ergonómico. Sin embargo, el **paso de la literatura a la realidad** no parece totalmente conseguido. Son propuestas como **materias de investigación**, situaciones prácticas complejas que deben ser reproducidas en laboratorio, ensayadas, intentando desenredar una madeja no solamente encontrando soluciones, sino más aún, descubriendo regularidades y leyes en el aparente desorden que se ha analizado.

Como profesores, escuchamos la voz de los alumnos que más o menos nos dicen: "Usted nos ha enseñado leyes científicas, propuesto técnicas, pero nada hemos aprendido sobre la manera de abordar los problemas dentro la **realidad y su complejidad**".

Realmente la situación de los tres estados indica una crisis de crecimiento.

Las modalidades de **acceso científicas** al estudio de la situación de trabajo, pueden ser bajo un **modelo de bucle abierto, de bucle cerrado, de un sistema y de una estructura**.

(Continuará en el próximo número)