

# El accidente de Chernobil

## Identificar y analizar los actos y condiciones inseguras que se presentaron en el accidente.

### ● VIOLACION DE LOS PRINCIPIOS DEL DISEÑO ERGONOMICO: CHERNOBIL

*Vladimir M. Munipov*

Las causas del accidente de Chernobil, ocurrido en 1986, se han atribuido indistintamente a los operadores, a la dirección de la central, al diseño del reactor y a la falta de adecuada información sobre seguridad en la industria nuclear soviética. Este artículo examina algunos de los fallos de diseño, de las deficiencias en el manejo y de los errores humanos que produjeron el desastre. Se examina la secuencia de hechos que llevaron al accidente, los problemas de diseño del reactor y de las barras de refrigeración y el curso del accidente mismo. Se tienen en cuenta también aspectos ergonómicos, y se sostiene la opinión de que la causa principal del accidente fue una inadecuada interacción hombre máquina. Por último, se mencionan las deficiencias que aún existen en el sistema nuclear soviético y se pone especial énfasis en que, a menos que aprendamos las lecciones ergonómicas, podría ocurrir otro desastre de características similares.

Todavía no se conoce la verdadera historia de Chernobil. El secretismo, las reticencias a hablar, las verdades a medias e incluso las mentiras, mantienen ocultas las razones del accidente. Un amplio análisis de las causas del accidente resulta casi una tarea imposible. El principal problema que debe afrontar el investigador es la necesidad de reconstruir el accidente y el papel que desempeñó el factor humano en él, contando únicamente con los pequeños fragmentos de información disponibles para su estudio. El desastre de Chernobil es más que un grave accidente tecnológico; parte de las causas del desastre se encuentran en la administración y en la burocracia. Sin embargo, el objetivo principal de este artículo es considerar los fallos de diseño, las

deficiencias de manejo y los errores humanos que se combinaron en el accidente de Chernobil.

#### *¿De quién fue la culpa?*

El académico N.A. Dollezhal, diseñador en jefe de los tubos de presión de los reactores de agua en ebullición (RBMK) utilizados en la central nuclear de Chernobil presentó en 1989 su visión personal de las causas del accidente. Su diagnóstico fue tajante, atribuyendo el accidente al hecho de que el personal no siguió los procedimientos correctos o "disciplina de producción". Señaló que los abogados que investigaron el accidente habían llegado a la misma conclusión. Según su opinión, "el fallo estuvo en el personal y no en un error de diseño o de fabricación". El supervisor de investigación de los RBMK corroboró esta opinión. En ningún momento se consideró la posibilidad de una falta de adecuación ergonómica como factor causal.

Sin embargo, los operadores expresaron una opinión distinta. El supervisor de turno de la cuarta unidad, A.F. Akimov, mientras agonizaba en un hospital por la dosis de radiación recibida durante el accidente, superior a 1.500 rads (R) en un corto período de tiempo, seguía diciendo a sus padres que sus acciones habían sido correctas y que no entendía qué podía haber salido mal. Su insistencia reflejaba la absoluta confianza que tenía en un reactor, que se suponía totalmente seguro. Akimov aseguró que no tenía nada de qué culpar a su equipo. Los operadores estaban seguros de que sus acciones se ajustaban a las normas y en éstas ni siquiera se mencionaba la posibilidad de una explosión. (Curiosamente, la posibilidad de que el reactor se convirtiera en algo peligroso bajo ciertas condiciones sólo se introdujo en las normas de seguridad después del accidente de Chernobil). Sin embargo, a la luz de los problemas de diseño que se han revelado después, es muy significativo que los operarios no pudieran comprender por qué al introducir las barras en el núcleo se produjo tan terrible explosión, en lugar de detenerse la reacción nuclear como estaba previsto. En otras palabras, actuaron "correctamente" según las instrucciones para el mantenimiento y su modelo mental del sistema del reactor, pero el diseño del sistema no se ajustaba a ese modelo.

A la vista de las pérdidas humanas, seis personas (que representaban a la dirección de la central), fueron condenadas por haber violado las normas de seguridad de instalaciones potencialmente explosivas. El presidente del tribunal señaló que debían reanudarse las investigaciones sobre "quienes no tomaron las medidas necesarias para mejorar el diseño de la central". También mencionó la responsabilidad de los altos cargos del departamento, de las autoridades locales y de los servicios médicos. Pero, de hecho, el caso estaba cerrado. Nadie más fue declarado responsable del mayor desastre ocurrido en la historia de la tecnología nuclear.

Sin embargo, es necesario investigar todos los factores causales que se combinaron para producir el desastre con el fin de aprender una lección importante para el funcionamiento seguro de las plantas nucleares en el futuro.

#### *Secretismo: el monopolio de la información en la investigación y la industria*

El fallo en la relación usuario-máquina que provocó el accidente de Chernobil en 1986 se puede atribuir, en alguna medida, a la política de secretismo, —la imposición de un monopolio informativo—, que regía la comunicación tecnológica en las clases dirigentes de la energía nuclear soviética. Un pequeño grupo de científicos e investigadores tenían el derecho a definir los principios y procedimientos básicos en la energía nuclear, un monopolio protegido por una política de secretismo. Como consecuencia de ello, las afirmaciones de los científicos soviéticos sobre la absoluta seguridad de las centrales nucleares no se

pusieron en duda durante 35 años y el secretismo contribuía a ocultar la incompetencia de los encargados de la política nuclear civil. Casualmente, se ha llegado a saber que el secretismo se extendió también a la información relacionada con el accidente de Three Mile Island; el personal del resto de las centrales nucleares soviéticas no fue bien informado de este accidente. Únicamente se conocieron aquellos detalles que no contradecían la versión oficial sobre la seguridad de las centrales nucleares. Un informe sobre los aspectos de ingeniería humana en el accidente de Three Mile Island, presentado por el autor de este artículo en 1985, nunca se distribuyó a las personas relacionadas con la seguridad y la fiabilidad de las centrales nucleares.

Jamás se hizo público ningún accidente nuclear en la Unión Soviética, excepto los de las centrales nucleares de Armenia y Chernobil (1982), que merecieron una pequeña mención en el periódico *Pravda*. Al ocultar el verdadero estado del problema y no aprovechar las lecciones basadas en el análisis de accidentes, los dirigentes de la industria nuclear estaban allanando el camino para el accidente del 86 en Chernobil, a lo que favorecieron además la idea simplificada que se había implantado sobre las actividades de los operadores y la subestimación del riesgo implícito en el funcionamiento de las centrales nucleares.

Como señaló en 1990 un miembro del Comité de Expertos Estatales sobre las Consecuencias del Accidente de Chernobil: "Para no cometer más errores, hay que admitir y analizar todos nuestros errores anteriores. Es esencial determinar qué errores se debieron a nuestra inexperiencia y cuáles se debieron a un intento deliberado de esconder la verdad".

## El accidente de Chernobil de 1986

### Planificación defectuosa de las pruebas

El 25 de abril de 1986, la cuarta unidad de la central nuclear de Chernobil (Chernobil 4) estaba siendo preparada para una operación de mantenimiento rutinario. El plan era parar la unidad y realizar una prueba con los sistemas de seguridad desconectados y totalmente desprovistos de los suministros normales de energía. Esta prueba se debía haber llevado a cabo *antes* de la puesta en marcha inicial de Chernobil 4. Sin embargo, el Comité Estatal tenía tanta prisa por inaugurar la central, que decidió posponer indefinidamente algunas pruebas "insignificantes". El Certificado de Conformidad se firmó a finales de 1982. Así, el ingeniero jefe suplente actuó según los planes primeros, que suponían la unidad totalmente inactiva; la planificación y orden de ejecución de la prueba se basaron en este supuesto implícito. En ningún momento realizó la prueba por iniciativa propia.

El programa de la prueba fue aprobado por el director de ingeniería. La energía durante la prueba debía provenir del rotor de la turbina después de apagarlo (durante su fase de rotación inducida por la inercia). Mientras sigue girando, la rueda móvil de la turbina genera energía que se puede usar en casos de emergencia. La falta total de energía en una central nuclear hace que se paren todos los mecanismos, incluidas las bombas de refrigeración del núcleo del reactor, lo que provocaría un grave accidente, ya que haría fundirse el núcleo. El objetivo de la prueba era comprobar la posibilidad de utilizar otros medios de generación de energía: la rotación por inercia de la turbina. No está prohibido llevar a cabo tales pruebas en centrales en producción, siempre que se haya elaborado el procedimiento adecuado y se hayan adoptado las precauciones de seguridad adicionales. El programa debe asegurar que dispone de una fuente de energía de seguridad durante todo el tiempo que dure la prueba. En otras palabras, la pérdida de energía se simula pero no es real. El experimento sólo se puede realizar cuando el

reactor está parado, esto es, una vez que se ha pulsado el botón de parada de emergencia y se han introducido las barras de control en el núcleo del reactor. Antes de esto, el reactor deberá estar en una condición estable y controlada, con el margen de reactividad especificado en el procedimiento operativo, con al menos 28 ó 30 barras de control introducidas en el núcleo.

El programa aprobado por el ingeniero jefe de la planta de Chernobil no cumplía ninguno de los requisitos anteriores. Además, dicho programa proponía bloquear el sistema de refrigeración de emergencia del núcleo, poniendo así en peligro la seguridad de la central durante todo el tiempo que durara la prueba (unas cuatro horas). Cuando desarrollaron el programa, se dieron cuenta de que existía la posibilidad de que se disparase el sistema de refrigeración de emergencia del núcleo, lo que impediría completar la prueba. En el programa no se especificaba el método de purga de la alimentación de vapor a la turbina, puesto que la turbina ya no necesitaría vapor. Evidentemente, los implicados no conocían en absoluto la física del reactor. Los encargados de la energía nuclear estaban por lo visto tan poco cualificados como los que lo diseñaron, lo que explica por qué, cuando se remitió el programa a las autoridades responsables para su aprobación en enero de 1986, nunca se comentó esta deficiencia. También contribuyó la poca sensación de peligro. Debido a la ya citada política de secretismo alrededor de la energía nuclear, se había formado una opinión acerca de que las centrales nucleares eran seguras y fiables, y su funcionamiento estaba libre de todo accidente. La falta de respuesta oficial al programa no alertó al director de Chernobil sobre la posibilidad de riesgo. Decidió seguir adelante con la prueba, llevando a cabo el programa sin ser certificado, aunque esto estuviera prohibido.

### Cambios en el programa de la prueba

Mientras se llevaba a cabo la prueba, el personal no respetó las indicaciones incluidas en el programa, creando así nuevas posibilidades de accidente. El personal de Chernobil cometió seis infracciones o errores graves. De acuerdo con el programa original, el sistema de refrigeración de emergencia del núcleo estaba fuera de servicio, y éste fue uno de los errores mayores y más graves. Las válvulas de control de la entrada de agua se habían cerrado y bloqueado con anterioridad, de manera que era imposible abrirlas incluso manualmente. El sistema de refrigeración de emergencia se había desconectado para evitar una reacción térmica por la entrada de agua fría en el núcleo caliente del reactor. Tal decisión se basó en la firme creencia de que el reactor aguantaría. La "fe" en el reactor se apoyaba en el uso sin problemas del reactor en los diez años de funcionamiento de la planta. Se ignoró incluso un serio aviso: la fusión parcial del núcleo del reactor en la primera unidad de Chernobil en septiembre de 1982.

De acuerdo con el programa de prueba original, la parada del rotor se debía hacer desde una potencia entre 700 y 1.000 MW<sub>th</sub> (megavatios térmicos). La parada del rotor se debía haber realizado con el reactor parado, pero se eligió otro camino, completamente desastroso: llevar a cabo la prueba con el reactor aún en marcha. Se hizo así para asegurar la "pureza" de la prueba.

En determinadas condiciones de funcionamiento, es necesario cambiar o desconectar el control local de un conjunto de barras de control. Cuando se desconectó uno de estos sistemas locales (en los procedimientos para puesta en funcionamiento con baja energía se especifica la manera de hacerlo), el ingeniero de control del reactor principal no actuó rápidamente para corregir el desequilibrio en el sistema de control. Como consecuencia, la potencia cayó por debajo de 30 MW<sub>th</sub>, lo que causó el envenenamiento del reactor por los productos procedentes de la fisión (xenón y yodo). Si esto ocurre, es casi imposible restaurar las

condiciones normales sin parar la prueba y esperar un día hasta que se elimine el envenenamiento. El ingeniero jefe de operaciones no quiso interrumpir la prueba y, a gritos, obligó a los operadores de la sala de control a comenzar a elevar el nivel de potencia (que se había estabilizado en 200 MW<sub>th</sub>). El envenenamiento continuó, pero no se podía seguir aumentando la potencia debido al poco margen de reactividad, de sólo 30 barras para un gran reactor. El reactor se hizo prácticamente incontrolable y potencialmente explosivo, porque, al intentar eliminar el envenenamiento, los controladores retiraron varias barras necesarias para mantener el margen de reactividad de seguridad, dejando inoperativo el sistema de parada de emergencia. Sin embargo, se decidió seguir adelante con la prueba. Este comportamiento se debió, quizá, al deseo de completar la prueba cuanto antes.

### ***Problemas debidos al diseño inadecuado del reactor y de las barras de control***

Para comprender mejor las causas del accidente es necesario señalar las graves deficiencias de diseño en las barras de control y del sistema de parada de emergencia. El núcleo del reactor tiene una longitud de 7 m, mientras que la longitud absorbente de las barras es de 5 m, con 1 m de zonas huecas en las partes superior e inferior. Los extremos inferiores de las barras, que se sitúan bajo el núcleo cuando se insertan por completo, están rellenos de grafito. Con este diseño, al entrar las barras de control en el núcleo hay primero un metro de zonas huecas seguido de las partes absorbentes. En Chernobil 4, se habían retirado por completo 205 de un total de 211 barras. La reinsertión simultánea de tantas barras provoca, en principio, un gran subida de la reactividad (un pico en la actividad de fisión), con la entrada en el núcleo de las partes de grafito y las partes huecas. En un reactor estable y controlado, esta subida no es preocupante, pero cuando se combinan tantas condiciones adversas se puede convertir en algo fatal, ya que provoca un escape inmediato de neutrones del reactor. La causa inmediata de este aumento de reactividad inicial es que el agua rompe a hervir en el núcleo del reactor. El crecimiento inicial en la reactividad reflejaba un inconveniente en particular: un coeficiente de vapor positivo debido al diseño del núcleo del reactor. Esta deficiencia en el diseño es uno de los fallos que provocaron errores de los operadores.

Estos graves fallos de diseño en el reactor y en las barras de control predeterminaron en realidad el accidente de Chernobil. En 1975, después del accidente de la central de Leningrado, y posteriormente, los especialistas avisaron de la posibilidad de otro accidente, en vista de las deficiencias de diseño del núcleo. Seis meses antes del desastre de Chernobil, A.A. Yadrikinsky, inspector de seguridad de la central de Kursk, envió una carta a Moscú en la que señalaba a los jefes de investigación y diseño ciertos defectos de diseño del reactor y del sistema de las barras de control y protección. El Comité Estatal de Supervisión de la Energía Nuclear hizo caso omiso de estos argumentos, considerándolos poco fundados.

### ***El curso del accidente***

El curso de los hechos fue el siguiente. Con la cavitación de la bomba de refrigeración del reactor, disminuyó la velocidad de flujo en el núcleo del reactor y el refrigerante comenzó a hervir en los tubos de presión. Entonces el supervisor de turno pulsó el botón de parada de emergencia. Como respuesta, todas las barras de control (que se habían retirado) y las barras de parada de emergencia se introdujeron en el núcleo del reactor. Sin embargo, al ser las partes de grafito y las huecas las primeras en entrar en el núcleo, crearon un aumento de la reactividad; además entraron en el núcleo justo al principio de una generación masiva de vapor. La subida de la temperatura del núcleo

produjo también el mismo efecto. Así pues, se combinaron tres condiciones adversas para el núcleo. Inmediatamente, el reactor se puso fuera de control. Esto se debió básicamente a los graves defectos de diseño del reactor RBMK. Hay que recordar aquí que el sistema de refrigeración de emergencia del núcleo estaba fuera de servicio, bloqueado y precintado.

Lo que ocurrió después es bien conocido. El reactor resultó dañado. La mayor parte del combustible, grafito y otros componentes del núcleo del reactor estallaron. Los niveles de radiación en las proximidades de la unidad dañada se situaron entre los 1.000 y 15.000 R/h, aunque en áreas más distantes o protegidas los niveles de radiación fueron considerablemente menores.

Al principio, el personal no se dio cuenta de lo que había pasado y repetían una y otra vez, "¡Es imposible! ¡Lo hemos hecho todo como debíamos!".

### ***Consideraciones ergonómicas en conexión con el informe soviético sobre el accidente***

El informe presentado por la delegación soviética en la reunión de la Asociación Internacional de la Energía Atómica (AIEA) en el verano de 1986 proporcionó información verdadera sobre la explosión, pero sigue existiendo la duda de si se puso el énfasis en el lugar adecuado o si se trataron con demasiada benevolencia las deficiencias de diseño. El informe afirmaba que el comportamiento del personal se vio influido por el deseo de completar la prueba cuanto antes. A juzgar por el hecho de que el personal violó los procedimientos de preparación y realización de la prueba y fue poco cuidadoso al realizar el control del reactor, parecería que no estaba muy al tanto de los procesos que en realidad estaban acaeciendo en el reactor y que no tenía ninguna noción del peligro. De acuerdo con el informe:

"Los diseñadores del reactor no proporcionaron los sistemas de seguridad adicionales para prevenir un accidente en caso de que deliberadamente se anularan los sistemas de seguridad y conjuntamente se produjera un incumplimiento de los procedimientos operativos, ya que tal combinación se consideraba bastante improbable. Por lo tanto, la causa inicial del accidente fue una improbable combinación de las condiciones y la violación del procedimiento por parte del personal de la central."

Se sabe que en el texto inicial del informe las palabras "personal de la central" iban seguidas por la frase "que puso de manifiesto los errores de diseño del reactor y de las barras del sistema de protección y control".

Los diseñadores consideraban bastante improbable la intervención de gente no cualificada en el control de la central y, por ello, no diseñaron los medios de seguridad necesarios. Los diseñadores, según su informe, consideraron lo sucedido como una situación improbable; pero surgen algunas preguntas: "¿Habían tenido en cuenta los diseñadores todas las posibles situaciones asociadas a la actuación humana en la central? Si la respuesta fuese positiva, ¿cómo se plasmaron en el diseño de la central?". Lamentablemente, la respuesta a la primera pregunta es negativa y deja áreas de la interacción usuario máquina indeterminadas. Como resultado, la formación para situaciones de emergencia, tanto teórica como práctica, se realizaba de acuerdo con un algoritmo de control casi primitivo.

No se utilizaron los conceptos ergonómicos para diseñar los sistemas de control asistidos por ordenador, ni para diseñar las salas de control de las centrales nucleares. Sirva como ejemplo un caso particularmente grave: el indicador de uno de los parámetros esenciales del estado del núcleo del reactor (esto es, el número de barras de protección y control insertadas en el núcleo), estaba mal presentado en el panel de mandos de

Chernobil 4, haciendo muy difícil su localización y comprensión. Sólo los operarios con más experiencia sabían interpretar los dispositivos de presentación de datos.

Los cálculos erróneos del proyecto y la falta de consideración de los factores humanos tuvieron el mismo resultado que una bomba de acción retardada. Debe recalarse que los defectos del núcleo y del sistema de control fueron la base para las posteriores acciones erróneas atribuidas a los operadores, por lo que la causa principal del accidente fue el diseño inadecuado de la interacción usuario-máquina. Los investigadores del desastre hicieron una llamada al "respeto para la ingeniería humana y la interacción hombre máquina; esta es la lección que nos enseñó Chernobil". Lamentablemente, es difícil abandonar las viejas ideas y los planteamientos estereotipados.

Desde 1976, el académico P.L. Kapitza pareció prever un desastre por razones que podrían haberse evitado en Chernobil, pero sus estudios no se publicaron hasta 1989. En febrero de 1976, *US News and World Report*, una revista semanal de noticias, publicó un reportaje sobre el incendio de la instalación nuclear de Browns Ferry en California. Kapitza estaba tan preocupado por este accidente que lo mencionó en su informe titulado "Problemas globales y energía", presentado en Estocolmo en mayo de 1976. Kapitza dijo en concreto:

"El accidente puso de relieve que los métodos matemáticos utilizados para calcular la probabilidad de este tipo de sucesos no fueron los adecuados, ya que no tuvieron en cuenta los posibles errores humanos. Para resolver este problema es necesario tomar medidas para prevenir que el más mínimo accidente nuclear tome un rumbo desastroso."

A su vuelta de Estocolmo, Kapitza intentó publicar este trabajo en la revista *Nauka i Zhizn* (Ciencia y Vida), pero el trabajo fue rechazado, ya que se consideró que no era conveniente "alarmar a la gente". La revista sueca *Ambio* pidió a Kapitza el artículo, pero al final tampoco lo publicó.

La Academia de Ciencias aseguró a Kapitza que no podía ocurrir este tipo de accidentes en la URSS y como "prueba" definitiva, le entregaron las Normas de Seguridad para Centrales Nucleares recién publicadas. Estas normas contenían, por ejemplo, el siguiente artículo: "8.1. Las acciones del personal en caso de accidente nuclear se regirán por el procedimiento para hacer frente a las consecuencias del accidente".

### **Después de Chernobil**

Como consecuencia directa o indirecta del accidente de Chernobil, se están elaborando y poniendo en marcha medidas para hacer más seguro el funcionamiento de las instalaciones nucleares actuales y para mejorar el diseño y construcción de las futuras. En particular, se han tomado medidas para hacer que el sistema de parada de emergencia sea más rápido y para que el personal no pueda desconectarlo deliberadamente. El diseño de las barras de control se ha modificado también y se ha incrementado su número.

Además, el procedimiento para condiciones anormales anterior a Chernobil indicaba a los operadores que mantuvieran el reactor en marcha, mientras que según el actual, se debe parar. Los nuevos reactores que se diseñan hoy en día son, por así decirlo, inherentemente seguros. Han aparecido nuevas áreas de investigación que antes de Chernobil se ignoraban o no existían, como el análisis probabilístico de seguridad y los ensayos de seguridad en bancos de prueba.

Sin embargo, según el anterior ministro de Industria y Energía Nuclear de la URSS, V. Konovalov, el número de deficiencias, paradas e incidentes en las centrales nucleares es todavía alto. Los estudios muestran que esto se debe, principalmente, a la baja calidad de los componentes, a los errores

humanos y a las soluciones inadecuadas dadas por los cuerpos de ingenieros y diseñadores. La calidad de los trabajos de construcción y de las instalaciones deja también mucho que desear.

Las modificaciones y los cambios en el diseño se han convertido en algo habitual. Como resultado, y en combinación con una formación inadecuada, las cualificaciones de los operadores son bajas. El personal debe mejorar sus conocimientos y habilidades en el curso de su trabajo, basándose en la experiencia adquirida durante el funcionamiento de la central.

### ***Aún quedan muchas lecciones ergonómicas por aprender***

Incluso los sistemas de control de seguridad más efectivos y sofisticados no aseguran una total fiabilidad de las centrales si no se tienen en cuenta los factores humanos. Se preparan ya programas para la formación profesional del personal en el Instituto Federal de Ciencia e Investigación, y hay planes de aumentar este esfuerzo considerablemente. Hay que admitir, sin embargo, que la ingeniería humana aún no forma parte integral del diseño, construcción, pruebas y funcionamiento de las centrales nucleares.

En 1988, el antiguo Ministerio de Energía Nuclear de la URSS contestó, a una pregunta oficial, que durante el período 1990-2000 no habría ninguna necesidad de especialistas en ingeniería humana con titulación de grado secundario o superior, puesto que no se había producido ninguna petición por parte de las centrales nucleares o de las empresas.

Para resolver muchos de los problemas mencionados en este artículo, es necesario llevar a cabo investigaciones multidisciplinarias en las que participen físicos, diseñadores, ingenieros industriales, operadores, especialistas en ingeniería humana, psicólogos y expertos en otros campos. Organizar este trabajo conjunto conlleva grandes dificultades, en especial las relacionadas con el monopolio de algunos científicos sobre la "verdad" en el campo de la energía nuclear y del monopolio de los operadores sobre la información de la puesta en funcionamiento de las centrales nucleares. Sin una completa información, no se pueden dar diagnósticos sobre las centrales nucleares, desde el punto de vista de la ingeniería humana, ni proponer, en caso necesario, formas para eliminar sus deficiencias, ni tampoco desarrollar un sistema de medidas para prevenir accidentes.

En las centrales nucleares de la antigua Unión Soviética, el estado de los medios técnicos de diagnóstico, control e informatización actuales están muy lejos de las normas internacionales aceptadas; los métodos de control de las centrales son innecesariamente complicados y confusos; no hay programas avanzados para la formación del personal; el apoyo que los diseñadores ofrecen a los operarios es mínimo y los formatos de los manuales de funcionamiento son bastante anticuados.

### **Conclusiones**

En septiembre de 1990, tras una investigación más completa, dos antiguos empleados de Chernobil fueron liberados de prisión antes de cumplir sus condenas. Algún tiempo después, se liberó al resto del personal antes del tiempo previsto. Muchas de las personas relacionadas con la fiabilidad y seguridad de las centrales nucleares piensan actualmente que el personal actuó correctamente, aunque estas acciones correctas hayan producido la explosión. El personal de Chernobil no puede considerarse responsable de la inesperada magnitud del accidente.

En un intento por identificar a los responsables del desastre, el tribunal se basó en la opinión de los especialistas técnicos que, en este caso, eran los diseñadores de la central nuclear de Chernobil. Como resultado de esto, se puede aprender una importante lección de Chernobil: mientras el principal documento legal, para identificar la responsabilidad en caso de desastre en instalaciones tan complejas como las centrales nucleares, sea

algo así como un manual de mantenimiento producido y modificado exclusivamente por los diseñadores de estas instalaciones, será técnicamente muy difícil determinar las causas reales de los desastres y tomar todas las precauciones necesarias para evitarlos.

Además, persiste la duda de si los operadores deben seguir estrictamente las instrucciones de mantenimiento en caso de desastre o si deben actuar de acuerdo con sus conocimientos, experiencia e intuición, en una forma que puede llegar incluso a ser opuesta a las instrucciones o estar ligada inconscientemente con el riesgo de una sanción grave.

Por desgracia, debemos reconocer que todavía no se ha encontrado la respuesta a la pregunta clave: "¿Quién tuvo la culpa del accidente de Chernobil?". Se busca a los responsables entre los políticos, físicos, administradores y operadores, así como entre los ingenieros encargados del desarrollo del proyecto. El condenar a simples obreros, como en el caso de Chernobil, o pedir a un sacerdote que bendiga la central nuclear, como se hizo en la unidad de Smolensk en 1991, no son las medidas más adecuadas para garantizar un funcionamiento seguro y fiable de las centrales nucleares.

Quienes consideran el desastre de Chernobil como un desafortunado incidente que no puede volver a ocurrir deben tener en cuenta que una de las características humanas fundamentales es cometer errores, y esto se aplica no sólo a los operadores, sino también a los científicos e ingenieros. Hacer caso omiso de los principios ergonómicos sobre las interacciones usuario-máquina en cualquier campo técnico o industrial puede producir errores cada vez más frecuentes y más graves.

Así, es necesario diseñar instalaciones técnicas como las centrales nucleares de forma que los posibles errores puedan descubrirse antes de que ocurra un accidente grave. Muchos

principios ergonómicos se han originado al tratar de prevenir errores, por ejemplo, en el diseño de indicadores y controles. Sin embargo, incluso en la actualidad se violan estos principios en muchas de las instalaciones técnicas de todo el mundo.

Los operadores de instalaciones complejas deben estar altamente cualificados, no sólo para las operaciones de rutina, sino también en cuanto a los procedimientos necesarios en caso de que se produzca una desviación en el funcionamiento normal. Un conocimiento sólido de la física y de la tecnología de los procesos ayudarán al personal a reaccionar mejor en una situación crítica. Este tipo de cualificaciones sólo puede obtenerse a través de una intensa formación.

Los avances constantes de las interfaces usuario-máquina en todos los tipos de aplicaciones técnicas, con frecuencia como resultado de accidentes más o menos graves, muestran que el problema de los errores humanos y por lo tanto, de la interacción usuario-máquina, aún no está totalmente resuelto. Es necesaria la continua investigación ergonómica y la consiguiente aplicación de los resultados obtenidos con el fin de hacer que la interacción usuario-máquina sea más fiable, especialmente en el caso de las tecnologías con un alto potencial destructivo, como las centrales nucleares. Chernobil constituye un serio aviso de lo que puede pasar si la gente, tanto científicos e ingenieros como administradores y políticos, olvida la necesidad de incluir la ergonomía en el proceso de diseño y operación de las instalaciones técnicas complejas.

Hans Blix, Director General de la AIEA, ha recalado este problema con el siguiente símil: se dice que el problema de la guerra es demasiado grave como para dejarlo sólo en manos de los generales, y Blix añade "Los problemas de la energía nuclear son demasiado graves como para dejarlos sólo en manos de los expertos nucleares".

## Referencias

- Abeysekera, JDA, H Shahnavaz, LJ Chapman. 1990. Ergonomics in developing countries. En *Advances in Industrial Ergonomics and Safety*, dirigido por B Das. Londres: Taylor & Francis.
- Ahonen, M, M Launis, T Kuorinka. 1989. *Ergonomic Workplace Analysis*. Helsinki: Instituto Finlandés de Medicina del Trabajo.
- Alvares, C. 1980. *Homo Faber: Technology and Culture in India, China and the West from 1500 to Present Day*. La Haya: Martinus Nijhoff.
- Amalberti, R, M Bataille, G Deblon, A Guengant, JM Paquay, C Valot, JP Menu. 1989. *Développement d'aides intelligentes au pilotage: Formalisation psychologique et informatique d'un modèle de comportement du pilotage de combat engagé en mission de pénétration*. Paris: Rapport CERMA.
- Amalberti, R. 1991. Savoir-faire de l'opérateur: aspects théoriques et pratiques en ergonomie. En *Modèle en analyse du travail*, dirigido por R Amalberti, M de Montmollin y J Thereau. Liège: Mardaga.
- Åstrand, I. 1960. Aerobic work capacity in men and women with special reference to age. *Acta Physiol Scand* 49 Suppl. 169:1-92.
- Bainbridge, L. 1981. Le contrôleur de processus. *B Psychol* XXXIV:813-832.
- . 1986. Asking questions and accessing knowledge. *Future Comput Sys* 1:143-149.
- Baitsch, C. 1985. *Kompetenzentwicklung und partizipative Arbeitsgestaltung*. Berna: Huber.
- Banks, MH, RL Miller. 1984. Reliability and convergent validity of the job component inventory. *J Occup Psychol* 57:181-184.
- Baranson, J. 1969. *Industrial Technology for Developing Economies*. Nueva York: Praeger.
- Bartenwerfer, H. 1970. Psychische Beanspruchung und Ermüdung. En *Handbuch der Psychologie*, dirigido por A Mayer y B Herwig. Göttingen: Hogrefe.
- Bartlem, CS, E Locke. 1981. The Coch and French study: A critique and reinterpretation. *Hum Relat* 34:555-566.
- Blumberg, M. 1988. Towards a new theory of job design. En *Ergonomics of Hybrid Automated Systems*, dirigido por W Karwowski, HR Parsaei y MR Wilhelm. Amsterdam: Elsevier.
- Bourdon, F, A Weill Fassina. 1994. Réseau et processus de coopération dans la gestion du trafic ferroviaire. *Travail Hum*. Numéro spécial consacré au travail collectif.
- Brehmer, B. 1990. Towards a taxonomy for microworlds. En *Taxonomy for an Analysis of Work Domains. Proceedings of the First MOHAWC Workshop*, dirigido por B Brehmer, M de Montmollin y J Leplat. Roskilde: Riso National Laboratory.
- Brown DA, R Mitchell. 1986. *The Pocket Ergonomist*. Sidney: Group Occupational Health Centre.
- Bruder. 1993. *Entwicklung eines wissensbasierten Systems zur belastungsanalytisch unterscheidbaren Erholungszeit*. Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Campion, MA, PW Thayer. 1985. Development and field evaluation of an inter-disciplinary measure of job design. *J Appl Psychol* 70:29-43.
- Campion, MA. 1988. Interdisciplinary approaches to job design: A constructive replication with extensions. *J Appl Psychol* 73:467-481.
- Carter, RC, RJ Biersner. 1987. Job requirements derived from the Position Analysis Questionnaire and validity using military aptitude test scores. *J Occup Psychol* 60:311-321.
- Caverni, JP. 1988. La verbalisation comme source d'observables pour l'étude du fonctionnement cognitif. En *Psychologie cognitive: Modèles et méthodes*, dirigido por JP Caverni, C Bastien, P Mendelson y G Tiberghien. Grenoble: Presses Univ. de Grenoble.
- Chaffin, DB, G Andersson. 1984. *Occupational Biomechanics*. Nueva York: Wiley.
- Chaffin, DB. 1969. A computerized biomechanical model-development of and use in studying gross body actions. *J Biomech* 2:429-441.
- Chapanis, A. 1975. *Ethnic Variables in Human Factors Engineering*. Baltimore: Johns Hopkins University.
- Coch, L, JRP French. 1948. Overcoming resistance to change. *Hum Relat* 1:512-532.
- Comité Europeo de Normalización (CEN). 1990. *Ergonomic Principles of the Design of Work Systems. EEC Council Directive 90/269/EEC, Minimal health and safety requirements for manual handling of loads*. Bruselas: CEN.
- . 1991. *CEN Catalogue 1991: Catalogue of European Standards*. Bruselas: CEN.
- . 1994. *Safety of Machinery: Ergonomic Design Principles. Part 1: Terminology and General Principles*. Bruselas: CEN.
- Corlett, EN, RP Bishop. 1976. A technique for assessing postural discomfort. *Ergonomics* 19:175-182.
- Corlett, N. 1988. The investigation and evaluation of work and workplaces. *Ergonomics* 31:727-734.