



ESTUDIOS DE TRANSFERENCIA
ENTRE POZOS PETROLIFEROS
EMPLEANDO TRAZADORES

SEGURIDAD RADIOLOGICA



Introducción general

Trazadores

Un *trazador* es una sustancia que, incorporada a un proceso natural o artificial, permite estudiar la evolución y dinámica del mismo a través del seguimiento de su propio comportamiento.

Ejemplos de trazadores son sólidos en suspensión, colorantes, sales y radioisótopos. La principal ventaja de éstos es la posibilidad de localizarlos por medio de las radiaciones que emiten. Un trazador, cualquiera sea su naturaleza, debe cumplir con el requisito fundamental de seguir fielmente al medio marcado.

Radioisótopos

El núcleo atómico está constituido por dos tipos de partículas : *protones* y *neutrones*. La cantidad de protones es llamada *número atómico* y es determinante del comportamiento químico del elemento al que el átomo pertenece, mientras que la suma de ambos tipos de partículas se denomina *número de masa*. Existen átomos con igual número atómico y distinto número de masa, son llamados *isótopos* del elemento en cuestión.

Para ciertos valores de los números atómico y de masa los núcleos son estables, es decir que en función del tiempo, no sufren alteraciones de no mediar alguna acción externa. Cuando la cantidad de neutrones en un núcleo es mayor o menor que la correspondiente al estado estable, el núcleo trata de lograr la estabilidad a través de la emisión de partículas *alfa* o *beta*. A este proceso se lo denomina desintegración radiactiva y puede ir acompañado de emisión de radiación electromagnética de origen nuclear, es decir radiación *gamma*.

La velocidad con la que una sustancia radiactiva desintegra es proporcional a su masa y se llama *actividad*, siendo su unidad de medición el *Becquerel* que equivale a una desintegración por segundo ($1 \text{ Bq} = 1 \text{ d} / \text{s}$). En la práctica suele utilizarse otra unidad más antigua, llamada *Curio* ($1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq} = 37 \text{ GBq}$). El tiempo que demora una masa dada de un radioisótopo en reducirse a la mitad por efecto de la desintegración radiactiva se denomina *período de semidesintegración* y se mide en unidades de tiempo.

Conceptos de seguridad radiológica

Cuando un haz de radiaciones atraviesa un medio se producen interacciones que dependen tanto del tipo de radiación como del material irradiado, pero cualquiera sea el caso, el medio absorbe energía. Ahora bien, si el material involucrado en este proceso es de tipo biológico pueden producirse alteraciones a nivel celular capaces de generar efectos nocivos para el ser vivo.

Para estudiar estos efectos, como así también las medidas de protección radiológica necesarias, se han definido una serie de parámetros, algunos de los cuales se describen a continuación.

Dosis absorbida es la energía de radiación entregada a un cuerpo por unidad de masa. Su unidad es el *Gray* ($1 \text{ Gy} = 1 \text{ J} / \text{g}$). Depende de la energía de la fuente emisora.

Dosis equivalente es la magnitud que resulta de ponderar la dosis absorbida aplicando un factor de calidad dependiente del tipo de radiación involucrada (partículas alfa o beta, neutrones o radiación gamma). Su unidad tiene una dimensión idéntica a la correspondiente a dosis absorbida, pero se denomina *Sievert* (Sv).

Dosis efectiva es la suma de las dosis equivalentes ponderadas por un factor que evalúa el detrimento producido en cada órgano humano irradiado. A partir de ella pueden evaluarse los efectos biológicos de las radiaciones. Estos tienen una componente estocástica, lo que significa que a mayor dosis absorbida por un ser humano mayor será la probabilidad de que aparezcan efectos a largo término.

Finalmente, la *dosis efectiva comprometida* considera la incorporación de una sustancia radiactiva al organismo e integra los efectos sobre el órgano afectado en función del tiempo, a lo largo de un período de cincuenta años para trabajadores y de setenta para el público.

La International Commission on Radiological Protection (ICRP) a nivel internacional y la Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN) a escala nacional han establecido límites de dosis equivalente y otros parámetros derivados tanto para trabajadores como para el público. En el primer caso se estipularon límites anuales tales que la probabilidad de que una persona que trabaja con radiaciones ionizantes se vea afectada por las mismas sea igual a la probabilidad de sufrir accidentes para un trabajador que se desempeñe en una industria convencional que se encuentre entre las más seguras. Para el caso del



público los límites son muy inferiores y equivalen al riesgo de accidente asumido por una persona por el hecho de habitar en una gran ciudad moderna. Evidentemente, todos los datos probabilísticos fueron obtenidos a partir de análisis estadísticos realizados a nivel mundial.

Los límites así establecidos son empleados para el diseño de experiencias y la planificación de actividades que impliquen la utilización de materiales radiactivos de manera de que las mismas se desarrollen en un marco de máxima seguridad.

Cuando se manipulan radioisótopos existen dos tipos de riesgos : *irradiación* y *contaminación*. La primera significa que un individuo se vio sometido a un haz de radiaciones y la segunda que tomó contacto físico con una sustancia radiactiva ya sea por tacto, inhalación o aspiración.

Para reducir al mínimo los riesgos de irradiación es menester tener en cuenta tres factores : en primer lugar debe operarse a la mayor distancia posible de la fuente radiactiva (por ejemplo trabajando con telepinzas); como segundo punto, las operaciones deben realizarse a la máxima velocidad compatible con las tareas a realizar, minimizándose así el tiempo de exposición a las radiaciones; por último pueden emplearse blindajes acordes al tipo y energía de la radiación emitida por la fuente.

Con respecto al uso de blindajes cabe aclarar que un haz de partículas alfa es detenido en forma completa por una hoja de papel, en tanto que un haz de partículas beta es blindado por una lámina de aluminio cuyo espesor es función de la energía máxima de las partículas. Para absorber la radiación gamma se requiere, por lo general, un blindaje de plomo o bien, en casos de fuentes de alta intensidad, de paredes de concreto.

En lo referente a los problemas de contaminación deben tomarse todas las precauciones posibles para evitar el contacto físico con el material, tal como el empleo de guantes. Se han definido límites anuales para cada radioisótopo tanto para inhalación como para ingestión.

Tritio

El hidrógeno natural está constituido en un 99,985% por un isótopo (^1H) caracterizado por poseer un único protón en su núcleo, mientras que la fracción restante está integrada por otro isótopo (^2H) llamado deuterio cuyo núcleo posee un protón y un neutrón. Ambos son estables.

Por medio de ciertas reacciones nucleares es factible producir un tercer isótopo del hidrógeno (^3H), conocido como tritio, con un protón y dos neutrones en su núcleo atómico. En este caso el exceso de protones hace que dicho núcleo sea inestable y que, por ello, busque la estabilidad a través de la emisión de una partícula beta para transformarse en un isótopo del helio. La desintegración radiactiva del tritio no produce emisión de radiación gamma por lo que resulta muy sencillo su blindaje. En la naturaleza existe tritio en muy bajas concentraciones producido en la alta atmósfera por acción de neutrones sobre átomos de nitrógeno. Se incorpora a la hidrosfera por medio de precipitaciones.

La dosis efectiva comprometida para el tritio ha sido fijada por la ARN (publicación AR10.1.1) en $1,8 \times 10^{-11}$ Sv / Bq tanto para trabajadores como para público mayor de 12 años. A partir de ella puede calcularse el *límite anual de ingestión* (en inglés ALI), resultando un valor de aproximadamente 2 GBq.

Estudios en yacimientos

Una manera muy conveniente para determinar la existencia vinculaciones entre pozos petrolíferos que operen en recuperación asistida y, en caso afirmativo, de evaluar los tiempos de tránsito entre inyector y productores es el empleo de trazadores siendo especialmente ventajoso el empleo de radioisótopos para esa finalidad.

La operación consiste en la incorporación al pozo, en forma conjunta con el agua de inyección, de una solución acuosa en la que se encuentra el trazador en una forma química apropiada. Una planificada y ordenada extracción de muestras en los pozos productores permite obtener gráficos representativos de las curvas de respuesta y, a partir de ellos, conocer los tiempos involucrados en el proceso.

El trazador más ampliamente utilizado a nivel mundial para el propósito mencionado es el tritio, en razón de las enormes ventajas que presenta tanto en lo referente a su comportamiento como desde el punto de vista radiológico. En este aspecto, el único riesgo que implica el uso del tritio, aún en elevadas actividades, es



la contaminación en cualquiera de sus formas. Este problema puede producirse en sólo en dos instantes : durante la inyección y durante el muestreo.

Por otro lado, resulta obvio que el riesgo será mucho mayor durante la etapa de inyección dado que el trazador no ha sufrido todavía ningún tipo de dilución. Esta operación es efectuada, en todos los casos, por personal especializado con utilización de medidas de seguridad apropiadas tales como empleo de guantes plásticos, barbijos, telepinzas y material de laboratorio descartable y un estricto control de los residuos radiactivos.

En cambio, la extracción de muestras es, generalmente, realizada por personal del yacimiento o otra empresa contratada al efecto, tratándose, en cualquier caso, de personal no especializado. Como se verá a continuación la enorme dilución sufrida por el trazador en el agua de inyección hace que los riesgos involucrados en la operación de muestreo sean totalmente despreciables.

La actividad típica con la que se trabaja en una amplia variedad de yacimientos es del orden de los 740 GBq (20 Ci). La operación de inyección se lleva a cabo por personal de NOLDOR con ayuda de un dispositivo de inyección especial, por lo general suministrado por el cliente.

Suponiendo una separación de 250 m entre los pozos en estudio, un espesor de capa de 4 m y una porosidad media del terreno de 0,25 se obtiene un volumen a marcar de 196.350 m³. Considerando una dilución uniforme de la actividad inyectada en el mencionado volumen, resulta una concentración de actividad promedio en el agua recuperada de alrededor de 3,8 MBq / m³. Un análisis teórico más estricto permite determinar el valor estimado de concentración de actividad para cada punto de la curva de respuesta. El resultado de este cálculo conduce a un valor en el pico de la curva aún menor que el hallado anteriormente .

Las muestras a ser tomadas por personal del yacimiento para ser enviadas a efectos de su medición tienen un volumen máximo de un litro (por lo general menos), lo que implica un contenido máximo de tritio de 3,8 KBq. Tomando 72 muestras anuales de cuatro pozos productores (típico plan de muestreo sugerido por NOLDOR), la actividad manipulada a lo largo de un año sería de 1,1 MBq, valor que resulta ser tres órdenes de magnitud inferior al límite anual de ingestión. Es decir que, desde el punto de vista radiológico, un operador podría beber todas las

muestras extraídas sin que ello le ocasionara daño alguno.

Requisitos legales

Antes de efectuar una experiencia que implique el empleo de trazadores radiactivos, tanto por personal de instituciones oficiales como de empresas autorizadas a su uso, debe gestionarse la correspondiente autorización ante la Autoridad Regulatoria Nuclear.

Para ello debe elaborarse un detallado informe en el que se justifique el empleo de radiotrazadores en lugar de otras técnicas. Además debe presentarse un cálculo de las dosis estimadas a ser recibidas tanto por los operadores como por el público y detallar las medidas de protección radiológica que se tomarán durante el desarrollo de las tareas. Con esta información, personal de la citada Autoridad efectúa un balance de riesgos y beneficios involucrados por el empleo de radioisótopos y, eventualmente, emite la correspondiente autorización. Una vez finalizadas las tareas debe presentarse un informe evaluativo desde el punto de vista de la seguridad radiológica.

Un requisito adicional que imponen las normas vigentes es el cumplimiento del “*Reglamento para el transporte seguro de materiales radiactivos*” (Organismo Internacional de Energía Atómica , edición 1985, enmienda 1990) y el “*Reglamento para el transporte seguro de materiales peligrosos de la República Argentina*”. Existen límites máximos para las actividades transportadas según el medio de transporte a utilizar, severas condiciones impuestas a los envases y contenedores y la obligación de emplear etiquetas y rótulos indicativos normalizados.

Situación de NOLDOR S.R.L.

La primera experiencia a nivel latinoamericano en el área de estudios de transferencia entre pozos petrolíferos tuvo lugar en 1977 en el yacimiento El Medanito en forma conjunta entre YPF y la Comisión Nacional de Energía Atómica. Ella fue dirigida, planificada y ejecutada por los profesionales que hoy integran NOLDOR S.R.L. quienes, además tomaron parte en la casi totalidad de estudios de este tipo llevados a cabo en la Argentina.

Es por ello que los profesionales de NOLDOR son quienes más experiencia tienen en el país - tanto en el ámbito privado como en el oficial - en la dirección, planificación y puesta en práctica estudios de campo de diverso tipo empleando tritio como trazador artificial.



A partir del momento de su fundación en 1995 NOLDOR llevó a cabo 34 inyecciones de tritio sin que se registraran situaciones de riesgo radiológico, incidentes o accidentes.

NOLDOR cuenta con permisos institucionales y personales para trabajar con tritio y otros radioisótopos, extendidos por la Autoridad Regulatoria Nuclear. Asimismo, desarrolló procedimientos de trabajo y diseñó contenedores y envases especiales para transporte seguro de tritio que cuentan también con la aprobación de la ARN.

Acciones ante eventuales incidentes radiológicos

Como ya se expuso, la operación de inyección es la más crítica desde el punto de vista radiológico en razón de los riesgos de contaminación relacionados con la manipulación del agua tritiada y por ello es siempre realizada por personal especializado que cuenta con la debida autorización para operar con este tipo de materiales.

La secuencia normal de operaciones se inicia con el transporte, por lo general por vía terrestre, del agua tritiada en bultos, envases y sobreenvases especialmente diseñados por NOLDOR S.R.L. y habilitados por la Autoridad Regulatoria Nuclear, para lo cual han debido ser sometidos a una serie de pruebas de estanqueidad e impacto, entre otras.

Estos bultos consisten en recipientes de plástico de alta densidad y cerrado hermético los cuales, rodeados de aserrín, son alojados en otros envases de plástico los que, a su vez, son contenidos en recipientes metálicos. Estos contenedores son trasladados hasta la localidad más cercana al yacimiento en cajones de madera, rotulados exteriormente de acuerdo a normas internacionales, por una empresa de transporte convencional.

Luego de ser retirados del depósito de la empresa los bultos son llevados al lugar de trabajo mediante un automóvil. En caso de choque debe apreciarse visualmente el estado de la

carga a efectos de comprobar la existencia de fugas, derrames o deterioro evidente de los bultos. Esta verificación debe practicarse, en caso de ser posible, viento arriba respecto del lugar de derrame o potencial dispersión.

La operación de inyección se efectúa mediante un dispositivo especial instalado en el pozo seleccionado utilizando, además, un sencillo sistema neumático de accionamiento manual de muy seguro funcionamiento.

Las partes contaminadas, tales las mangueras y los recipientes, son colocados en bolsas de plástico para almacenamiento de residuos radiactivos, las que son remitidas nuevamente a Buenos Aires para su gestión empleando los mismos medios de transporte ya mencionados. Todas estas tareas se realizan utilizando guantes descartables.

El dispositivo inyector puede considerarse limpio y libre de contaminación residual luego de haber circulado a través del mismo agua de inyección durante unos treinta minutos.

Si se produce un derrame de agua tritiada, debe aislarse la zona donde se produjo el vertido o área de riesgo y no tocar a mano limpia bultos, materiales u otros objetos mojados. No debe intentarse la limpieza de ningún objeto sin la presencia de personal especializado. La vestimenta eventualmente afectada debe ser quitada y aislada.

En caso de haberse mojado la piel u otros órganos, debe procederse al lavado, durante varios minutos, con agua y jabón empleando, de ser posible, un cepillo. Si se hubiera contaminación del terreno, podría removerse la tierra afectada y ser almacenada en bolsas para residuos radiactivos para su posterior gestión.

Finalmente, en caso de robo o hurto de material radiactivo debe informarse en forma inmediata a la Autoridad Regulatoria Nuclear (011 - 4348 - 9000, código 111 - 0896).