

PROPIEDAD INTELECTUAL

FLUJO INTEGRADO DE TRABAJO

**PARA LA MODELIZACIÓN ESTÁTICA Y DINÁMICA
Y LA OPTIMIZACIÓN DE LA ADMINISTRACIÓN DE
YACIMIENTOS DE PETRÓLEO Y GAS**

AUTORES: MIRTA CÓRDOBA DE GALACHO

NÉSTOR U. GALACHO

Todos los derechos reservados por Mirta Galacho y Asociados S.R.L.
Hecho el depósito que establece la ley 11.723 bajo el número 266219
Junio 2003

FLUJO INTEGRADO DE TRABAJO

PARA LA MODELIZACIÓN ESTÁTICA Y DINÁMICA Y LA OPTIMIZACIÓN DE LA ADMINISTRACIÓN DE YACIMIENTOS DE PETRÓLEO Y GAS

INTRODUCCIÓN

Las tareas desarrolladas como procesos sinérgicos en el Análisis, Interpretación y Evaluación de Yacimientos de Petróleo y Gas son llamadas **Estudios Integrados**, y comprenden la **MODELIZACIÓN ESTÁTICA Y LA SIMULACIÓN NUMÉRICA DINÁMICA INTEGRAL DE YACIMIENTOS (SNDI)**. Nos proponemos que estas tareas nos permitan predecir de la manera más probable, y con incertidumbres acotadas, el comportamiento productivo de los reservorios para luego implementar un Programa de Optimización de la **Administración de Yacimientos (Reservoir Management)**, técnica y económicamente eficaz y eficiente.

En el proceso de Modelización Estática de Yacimientos se aplican diversas **Tecnologías de Avanzada y Software Especializado** para lograr los modelos tridimensionales más probables de los yacimientos, de acuerdo con el tipo de reservorio, el estadio de desarrollo y la maduración de la explotación alcanzados.

Varias de esas Tecnologías se reúnen en la Metodología con el nombre de **ESTADÍSTICA INTEGRAL AUTOCORRELADA (EIA)**, cuya concepción de conjunto estos autores también han desarrollado y que la Consultora Mirta Galacho y Asociados, SRL, aplica extensamente.

La **SIMULACIÓN NUMÉRICA DINÁMICA INTEGRAL (SNDI)** comprende a la propia Simulación de Reservorio y al Análisis Nodal de los Pozos y de las Instalaciones de Superficie.

En el **Ajuste Histórico Integrado de Yacimientos** de la Simulación Dinámica se compara el comportamiento productivo real con el que logra reproducir el Modelo en definición. Este Ajuste es un real Refinamiento de las Realizaciones Estáticas por EIA, que respeta los procesos de definición del Modelo Estático más probable del yacimiento, siendo, por lo tanto, el Modelo Final el más cercano al real.

Todo este conjunto de tareas de la **MODELIZACIÓN ESTÁTICA Y LA SIMULACIÓN NUMÉRICA DINÁMICA INTEGRAL DE YACIMIENTOS (SNDI)** se organizan en **FLUJOS INTEGRADOS DE TRABAJO**, definidos por los autores tal como a continuación se presenta.

FLUJO INTEGRADO DE TRABAJO

PARA LA MODELIZACIÓN ESTÁTICA Y DINÁMICA Y LA OPTIMIZACIÓN DE LA ADMINISTRACIÓN DE YACIMIENTOS DE PETRÓLEO Y GAS

DESARROLLO

Las tareas desarrolladas como procesos sinérgicos en el Análisis, Interpretación y Evaluación de Yacimientos de Petróleo y Gas, forman parte de los llamados **ESTUDIOS INTEGRADOS**. Comprenden la **MODELIZACIÓN ESTÁTICA Y LA SIMULACIÓN NUMÉRICA DINÁMICA INTEGRAL DE YACIMIENTOS (SNDI)** y deben organizarse, para su óptima consecución en **FLUJOS INTEGRADOS DE TRABAJO** como el mostrado en la Fig. 1.

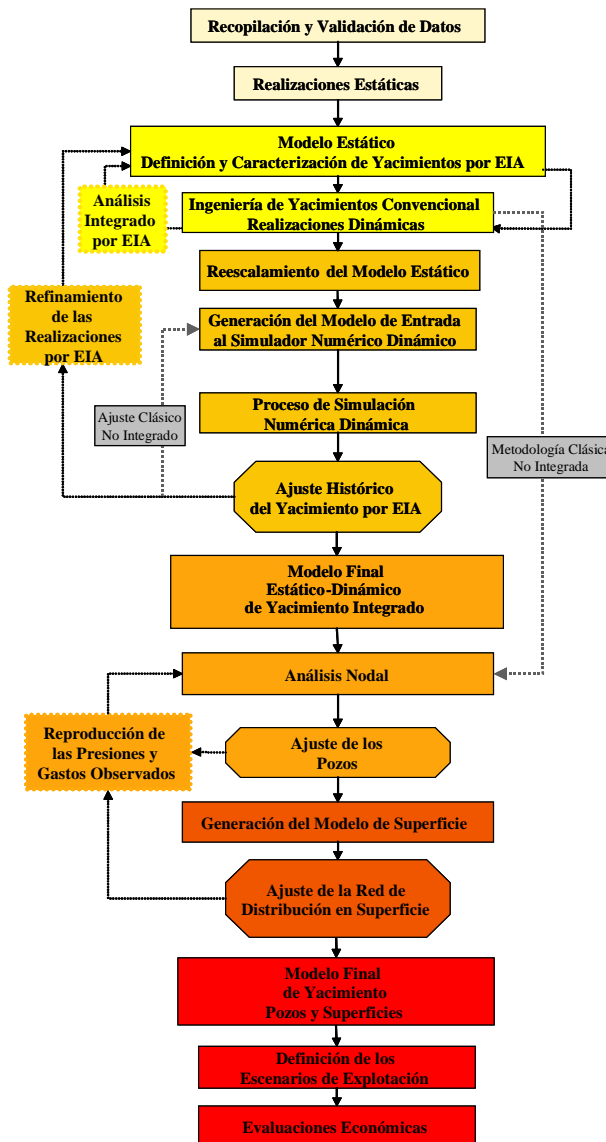


Fig. 1: Flujos de Trabajo Tipo: Integrado (EIA + SNDI); No Integrado (Clásico)

El objetivo de las tareas de Modelización de Yacimientos es permitirnos predecir de la manera más probable, y con incertidumbres acotadas, el comportamiento productivo de los reservorios para luego implementar un Programa de Optimización de la **ADMINISTRACIÓN DE YACIMIENTOS (RESERVOIR MANAGEMENT)**, técnica y económicamente eficaz y eficiente.

En el proceso de Modelización Estática de Yacimientos se aplican diversas **TECNOLOGÍAS DE AVANZADA Y SOFTWARE ESPECIALIZADO** para lograr los modelos tridimensionales más probables de los yacimientos, de acuerdo con el tipo de reservorio, el estadio de desarrollo y la maduración de la explotación alcanzados.

Varias de esas Tecnologías se reúnen en la Metodología con el nombre de **ESTADÍSTICA INTEGRAL AUTOCORRELADA® (EIA)**, cuya concepción de conjunto hemos desarrollado en la Consultora MG&A, y que aplicamos extensamente.

En el Flujo de Trabajo de la Fig.1 se representan dos caminos bien diferentes para la Modelización de Reservorios: el No Integrado o Clásico y el Integrado de la Estadística Integral Autocorrelada y la Simulación Numérica Dinámica Integral.

En el camino No Integrado, y como su nombre lo indica, las distintas realizaciones son reunidas, pero no integradas, con lo que las apreciaciones complementarias de las distintas disciplinas se pierden, y el logro de una real representación de las complejas características geológicas y de los fenómenos físicos del movimiento de fluidos en los reservorios difícilmente pueden ser representados.

En el **camino Integrado de la Modelización** se comienza identificando y definiendo el Flujo de Trabajo específico para la Integración de datos básicos y elaborados, realizaciones del propio estudio y pre-existentes, para lograr la Modelización Estática de Yacimientos.

Todos los datos son validados y muchos de ellos normalizados, antes de integrarlos, pero el propio proceso de integración permite su más acabada validación, conjuntamente con las realizaciones de las distintas disciplinas.

Aplicando los análisis estadísticos integrados de la EIA, con correlaciones cruzadas entre el comportamiento productivo de los yacimientos y distintas variables de caracterización sedimentológica, estructural, petrofísica, etc., se identifican los Atributos, con sus Valores de Corte, para la Definición y Caracterización de los reservorios.

Así se logra un **MODELO ESTÁTICO INTEGRAL DE LOS YACIMIENTOS**, tridimensional y continuo, con **REALIZACIONES ESTRUCTURALES, SEDIMENTOLÓGICAS, DE ELECROFACIES, PETROFÍSICAS** (porosidades, permeabilidades, etc.), y de Unidades Hidráulicas Independientes más probables, que se confirman con las Realizaciones Dinámicas posteriores.

Además, el Modelo Estático así elaborado tendrá una lógica y formato compatibles con el Modelo Dinámico, con quién sostendrá verdaderos Procesos de Ajustes Integrados, como se muestra en la Fig. 1, para el refinamiento y definición final del Modelo Integral del Yacimiento.

El Modelo Estático debe respetar, definiendo y caracterizando adecuadamente, las heterogeneidades reales, que son condicionantes del comportamiento productivo del campo simulado. Puede, como muestra la Fig. 2, que la resolución de cierta información, como la sísmica, no sea suficiente para discernir las Unidades Hidráulicas Independientes (Reservorios a Simular) y deba primordialmente utilizarse información de mayor resolución vertical, como los

Registros de Pozo, desarrollando así un **MODELADO POR ESTADÍSTICA INTEGRAL AUTOCORRELADA A ESCALA DE LAS HETEROGENEIDADES**.

En la Fig. 2, se presentan 3 imágenes, A, B y C. La imagen A muestra una X-line sísmica, con un registro de pozo superpuesto. Se observa que la resolución de la información sísmica, con la identificación de los dos reflectores, alcanza para definir la zona de interés, pero no las heterogeneidades de la misma. En cambio el registro de pozo es mucho más efectivo para identificar esas heterogeneidades.

La imagen B muestra un mallado de gran detalle utilizado para el Modelo Estático entre los dos reflectores sísmicos, respetando las heterogeneidades mostradas por el registro de pozo. Obsérvese que si se hubiera definido el mallado desde la sísmica sólo podría tenerse una celda.

Por último la imagen C muestra, para la misma zona, el mallado utilizado para el Modelo Dinámico, que al ser generado por “Upscaling” (cambio de escala) desde el Modelo Estático, representa las heterogeneidades y permite identificar las zonas impermeables, probables límites de las Unidades Hidráulicas Independientes. Como es claro este mallado no hubiera podido construirse desde la información sísmica.

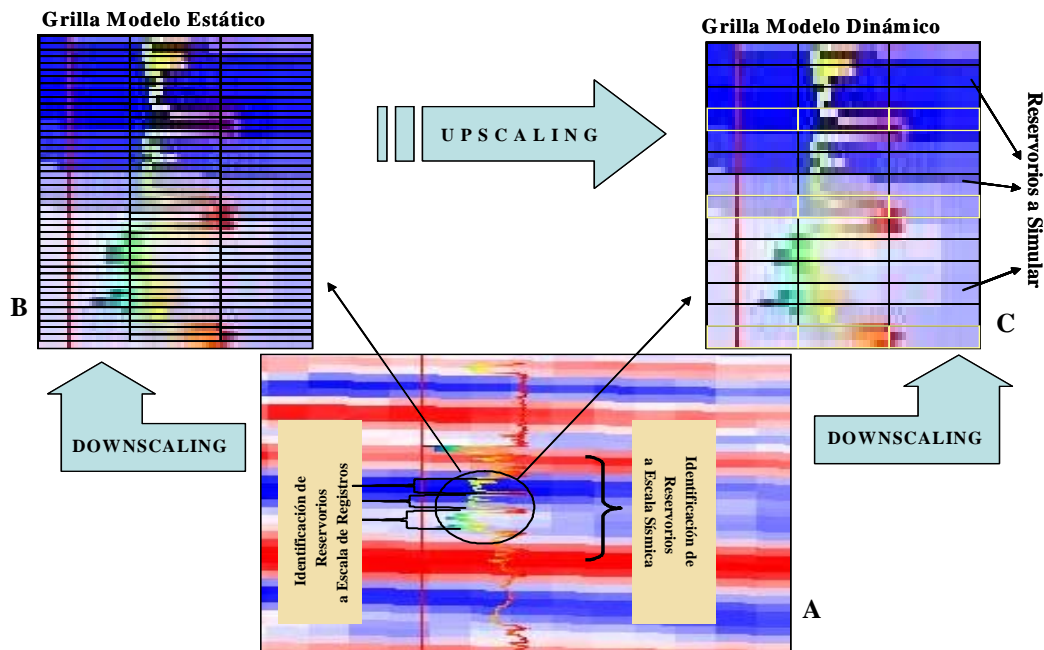


Fig. 2: Estadística Integral Autocorrelada a Escala de las Heterogeneidades
Resolución de la Información

Sin embargo, es evidente que en algunos estadios de la Modelización la información más abundante es la sísmica y también que ciertos procesos de interpretación de la misma que la combinan, sobre bases de la Estadística Integral Autocorrelada (EIA), con datos de registros de pozos, pueden lograr una mayor resolución vertical que la de los datos sísmicos exclusivamente. Se logra así un proceso de Re-escalamiento llamado Downscaling, mostrado en la Fig. 2, que en algunos casos, dependiendo de la información disponible, puede llevarse a cabo.

Como es de prever, con el correr del tiempo los primeros Modelos, basados esencialmente en información sísmica, dejan de reflejar el comportamiento dinámico del reservorio, y a medida que se van perforando nuevos pozos y recopilando datos estáticos y dinámicos, aumenta la

necesidad de crear un nuevo Modelo que involucre esa información de mayor resolución y que responda de manera más ajustada a las reacciones dinámicas observadas en los pozos.

Es bien sabido, que cuánto mayor precisión se logre en la definición del Modelo Estático suministrado al Simulador Numérico Dinámico, menor será el tiempo requerido para el Ajuste Histórico (History Matching) y mayor será el acercamiento del Modelo Final al yacimiento real.

Por esto buscamos que los procesos de cambios de escala (**UPSCALING**) y de interpolación de datos (Creación de Mallas 2D), requeridos para la operación del Simulador Numérico, se realicen con las metodologías más apropiadas para cada caso, con pérdidas mínimas y acotadas en la definición del Modelo Estático.

Siguiendo en el Flujo de Trabajo presentado en la Fig. 1, y con mayor detalle en la Fig. 3, la **INGENIERÍA DE YACIMIENTOS CONVENCIONAL**, con apoyo en el Modelo Estático, en lo que llamamos un **ANÁLISIS INTEGRADO POR EIA**, convalida integralmente los datos dinámicos con el Modelo Estático definido, pudiendo por un lado descartar datos anómalos y por otro complementar y/o refinar el Modelo Estático logrado.

Así, con la incorporación del total de los datos dinámicos se continúa el análisis del comportamiento productivo de los reservorios, con sus límites físicos y mecanismos de producción dominantes. También sobre bases estadísticas integradas se completa la caracterización de los fluidos y de la roca reservorio.

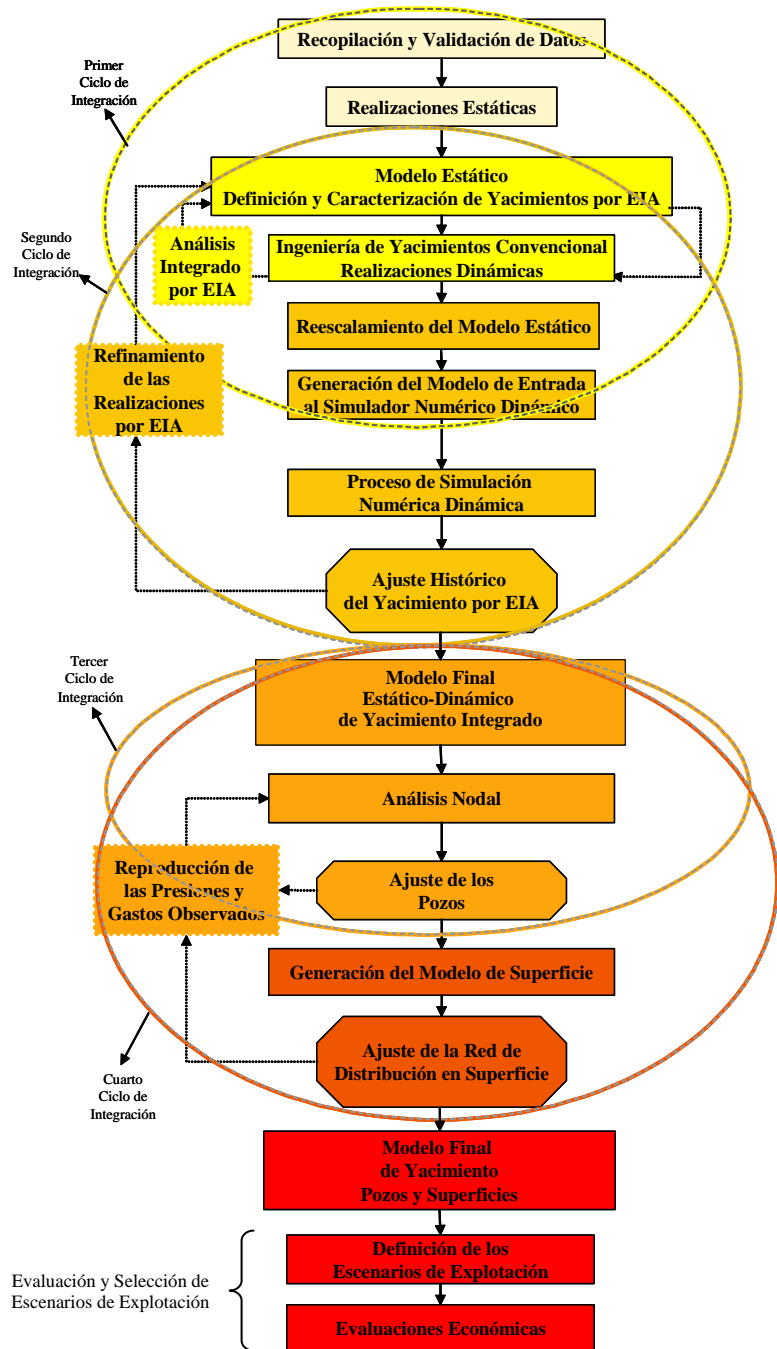


Fig. 3: Flujo de Trabajo. Ciclos de Integración

Es sumamente importante adquirir en esta etapa el más completo, detallado y preciso entendimiento y manejo de los yacimientos en sus aspectos estáticos y comportamiento dinámico. De ese “entendimiento” dependerá el éxito de la Simulación Numérica Dinámica a llevar a cabo.

Se logra así, con este nuevo eslabón del Estudio Integrado, confirmar y completar la **IDENTIFICACIÓN, DEFINICIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS UNIDADES HIDRÁULICAS** del Campo expresadas en un “Modelo de Entrada” a suministrar al Simulador Numérico Dinámico, concluyendo lo que llamamos el Primer Ciclo de Integración del Modelado, según se observa en la Fig. 3.

La **SIMULACIÓN NUMÉRICA DINÁMICA INTEGRAL (SNDI)** debe llevarse a cabo con software de última generación, que comprenda a la propia Simulación de Reservorio y el Análisis Nodal de los Pozos y de las Instalaciones de Superficie.

Cada una de las realizaciones del Simulador debe “ajustarse” por un proceso de **AJUSTE HISTÓRICO INTEGRADO DE YACIMIENTOS** comparando el comportamiento productivo real con el que logra reproducir ese Modelo. Este Ajuste que es un real Refinamiento de las Realizaciones por EIA, según se indica en la Fig. 3, lo hacemos sobre las Realizaciones Estáticas y los procesos de Reescalamiento y no directamente sobre el “Modelo de Entrada” al Simulador Dinámico, como es habitual. De esta manera respetamos los procesos de definición del Modelo Estático más probable del yacimiento, siendo, por lo tanto, el Modelo Final el más cercano al real. El proceso de Ajuste Histórico Integrado constituye el Segundo Ciclo de Integración del Modelado.

En síntesis el mejor “Modelo de Entrada” congruentemente combinado con la acabada comprensión del comportamiento dinámico de los yacimientos conducirá a que ese proceso de Ajuste Histórico Integrado arriba referido sea eficaz y eficiente en el logro del Modelo Final de los Yacimientos más cercano al real.

En los Caminos Clásicos, luego de alcanzar un cierto ajuste del Modelo de Reservorio, se aplican separadamente los procedimientos del Análisis Nodal sobre los Pozos y las Facilidades de Superficie.

Con las herramientas actuales, en el Camino Integrado, es posible integrar el Modelo de Reservorio, con el modelo de la zona de los “Alrededores del Pozo”, como una condición de contorno interna, a partir de la cual se puede realizar un **AJUSTE HISTÓRICO INTEGRADO DE LOS POZOS Y DEL RESERVORIO**, y luego con las Facilidades de Pozo y Superficie, para realizar un real **AJUSTE HISTÓRICO INTEGRADO DE LAS FACILIDADES DE SUPERFICIE, LA ZONA ALREDEDOR DE LOS POZOS Y EL RESERVORIO**, Tercer y Cuarto Ciclos de Integración del Modelado, ver Fig. 3.

Así obtenemos el **MODELO FINAL DE YACIMIENTOS, POZOS Y SUPERFICIE** con el que se realizan las predicciones y se diseñan y seleccionan los **ESCENARIOS DE EXPLOTACIÓN**, que responden a las Estrategias y Condiciones Económicas definidas por la Empresa Productora, y que también son valorados en sus **RESULTADOS ECONÓMICOS** para su final Optimización.

Estos procesos de Modelado Integral de Yacimientos, con la adecuada aplicación de los **FLUJOS INTEGRADOS DE TRABAJO**, aquí descriptos, permiten el Diseño y Optimización Integral de la Explotación, no sólo en sus aspectos de subsuelo, sino también de instalaciones de pozo y superficie, condición particularmente importante en los Campos de Gas.