

PRIMER SEMINARIO DE ECAMAT

**Conceptos, enfoques y técnicas
en los estudios de transferencia de calor y materia**



Instituto de Estudios de Ciencia y Tecnología "Amílcar Argüelles"

PRIMER SEMINARIO DE ECAMAT

Conceptos, enfoques y técnicas en los estudios de transferencia de calor y materia

*Seminario organizado por el Instituto de Estudios de Ciencia y Tecnología
“Amílcar Argüelles” y su Sección ECAMAT, de la Academia Nacional de Ciencias
de Buenos Aires, el 27 de agosto de 2014*



Instituto de Estudios de Ciencia y Tecnología “Amílcar Argüelles”
Buenos Aires, 2014

Primer seminario de ECAMAT : conceptos, enfoques y técnicas en los estudios de transferencia de calor y materia / Juan Carlos Ferreri ... [et.al.]. - 1a ed. - Buenos Aires : Academia Nacional de Ciencias de Buenos Aires, 2014.
E-Book.

ISBN 978-987-537-132-3

1. Ingeniería. 2. Tecnología. 3. Física. I. Ferreri, Juan Carlos
CDD 530

Fecha de catalogación: 16/12/2014

Academia Nacional de Ciencias de Buenos Aires

Instituto de Estudios de Ciencia y Tecnología “Amílcar Argüelles”

Director: Dr. Fausto Tulio Gratton

El presente trabajo se encuentra disponible sólo en versión electrónica

© Academia Nacional de Ciencias de Buenos Aires

Av. Alvear 1711, 3º piso – 1014 Ciudad de Buenos Aires – Argentina

www.ciencias.org.ar

correo-e: info@ciencias.org.ar

La publicación de los trabajos de los Académicos y disertantes invitados se realiza bajo el principio de libertad académica y no implica ningún grado de adhesión por parte de otros miembros de la Academia, ni de ésta como entidad colectiva, a las ideas o puntos de vista de los autores.

ISBN 978-987-537-132-3

ÍNDICE

Ing. María Cecilia Conti: <i>Apertura</i>	5
Ing. Juan Carlos Ferreri: <i>CAMAT: historia, legado y herederos</i>	7
Dr. Mauricio Chocrón: <i>TM en procesos de tecnología nuclear</i>	15
Dr. Alejandro Clausse: <i>Autómatas celulares para TCyM</i>	36
Dr. Mauricio Chocrón: <i>Palabras de cierre</i>	47
<i>Galería de imágenes del evento</i>	48

APERTURA

MARÍA CECILIA CONTI¹

Buenas tardes:

Es un gran honor para mí, como parte de la Secretaría Científica y Técnica de ECAMAT, dar comienzo al acto de apertura de esta actividad que se constituye como una de las doce secciones del Instituto de Estudios de Ciencia y Tecnología “Amílcar Arguelles” de la Academia Nacional de Ciencias de Buenos Aires. Les damos una cordial y afectuosa bienvenida.

Muchos de los aquí presentes, especialistas con amplia trayectoria y experiencia, seguramente tuvieron la oportunidad de conocer y ser parte de lo que fue el Comité Argentino de Transferencia de Calor y Materia que culminó en la Primera Escuela de Transferencia de Calor y Materia (ECAMAT’92). Hoy iniciamos el primer seminario de lo que es el ECAMAT, Estudios de Transferencia de Calor y Materia, con el mismo espíritu de quienes fueron sus antecesores: CAMAT y ECAMAT’92. Promover el desarrollo e intercambio de conocimientos en temas vinculados a los fenómenos de transporte de calor y materia son algunos de sus objetivos. Pero principalmente, reunir a científicos, tecnólogos y demás especialistas en el tema para fortalecer los vínculos y cooperación y futuros intercambios.

En esta oportunidad, nos acompaña el Ing. Juan Carlos Ferreri, pionero en el campo de los fenómenos de transferencia de calor y materia en nuestro país. Actualmente, se desempeña como asesor emérito de la Autoridad Regulatoria Nuclear y es miembro activo de la Academia Nacional de Ciencias de Buenos Aires y responsable organizador de esta actividad. El Dr. Mauricio Chocrón, profesional de amplia trayectoria en temas relacionados a química y procesos en instalaciones nucleares. Tecnólogo e investigador *senior* dentro de la Comisión Nacional de Energía Atómica y principal impulsor de reiniciar las actividades de lo que fue el CAMAT, Comité Argentino de Transferencia de Calor y Materia. Nos acompaña también el Dr. Alejandro Clausse, investigador principal del CONICET y profesor en la Universidad Nacional del Centro en el área de los fenómenos de transporte en sistemas gaseosos.

A continuación daremos inicio a las conferencias.

El Ing Juan Carlos Ferreri, abrirá la jornada bajo el título “CAMAT: historia, legado y herederos”. Continuará el Dr Mauricio Chocrón con su exposición en “Transferencia de

¹ Ingeniera. CNEA. mceciliaconti@gmail.com

masa en tecnología nuclear”. Luego una pausa y retomamos con la segunda parte del seminario a cargo del Dr. Alejandro Clausse quien nos hablará sobre “Autómatas celulares para transferencia de calor y materia”. La jornada finalizará con unas palabras alusivas del Dr. Chocrón.

De esta manera, queda oficializado el inicio de jornada. Nuevamente, agradecemos a los presentes por su participación y esperamos junto a ustedes construir y llevar adelante esta actividad. Muchas gracias.

CAMAT: HISTORIA, LEGADO Y HEREDEROS

JUAN CARLOS FERRERI²

Resumen:

En esta presentación se resumen los antecedentes institucionales del Comité Argentino de Transferencia de Calor y Materia al efecto de considerarlos como antecedentes formales para el funcionamiento de la Sección “Estudios de Transferencia de Calor y Materia (ECAMAT)” del Instituto de Estudios de Ciencia y Tecnología “Amílcar Argüelles” (IECyT-AA) de la Academia Nacional de Ciencias de Buenos Aires (ANCBA). Además, se define el objetivo de la ECAMAT, se delinea el accionar futuro y se mencionan sus responsables académicos.

Abstract:

This presentation summarizes the institutional background of the former Argentinean Committee for Heat and Mass Transfer. This will be the action basis for the Section “Studies in Heat and Mass Transfer (ECAMAT) of the Institute for Studies on Science and Technology “Amílcar Argüelles” (IECyT-AA) at the National Academy of Sciences at Buenos Aires (ANCBA). Furthermore, the objectives of the ECAMAT are defined. Future activities are delineated and responsible scientists are introduced.

El Comité argentino de transferencia de Calor y Materia (CAMAT)

El CAMAT fue creado el 7 de diciembre de 1977 en el marco institucional del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y, según la resolución de creación 705/77, tenía una naturaleza y un objeto definidos como sigue: “El CAMAT es un organismo constituido con el auspicio del CONICET con el objeto de asesorar, promover, coordinar y ejecutar las actividades científicas, tecnológicas y de desarrollo, en el área de los procesos básicos y aplicados que involucren procesos de transferencia de calor y materia y fenómenos relacionados.”

² Academia Nacional de Ciencias de Buenos Aires (ANCBA), jcferreri@gmail.com

De acuerdo a su naturaleza y con el objeto de cumplir con su misión, el CAMAT tenía las siguientes funciones (*sic*):

1. Empeñar una acción tendiente a coordinar las actividades que se realicen en el área de la transferencia de calor y materia en la Argentina.
2. Promover la ejecución de programas de investigación básica, aplicada y de desarrollo en el área de la transferencia de calor y materia y colaborar con ella, procurando la máxima interacción con el medio productivo.
3. Promover la introducción de la enseñanza de los procesos de transferencia de calor y materia en los planes de estudios universitarios.
4. Propiciar programas de formación de recursos humanos en el área de la transferencia de calor y materia.
5. Favorecer y fomentar la cooperación entre los investigadores y centros o institutos de la especialidad.
6. Difundir los resultados de los trabajos y acciones que se desarrollen en el área.
7. Mantener relaciones con centros de otros países.
8. Promover y colaborar en la realización de congresos, reuniones científicas, seminarios, cursos, etc.
9. Promover y facilitar la asistencia de expertos a congresos, reuniones, seminarios, etc. que se realicen en el área.
10. Promover el intercambio con investigadores del exterior.
11. Asesorar al CONICET en el área.
12. Recibir, a través de los mecanismos administrativos del CONICET, subsidios, legados, donaciones, contribuciones, etc. con destino al cumplimiento de sus objetivos.

Su organización consistía en un Plenario de miembros y una Junta Ejecutiva. El Plenario inicial, de cuarenta miembros, tenía representantes personales e institucionales que eran científicos, tecnólogos pertenecientes a instituciones universitarias, de investigación y de la industria. La Junta Ejecutiva constaba de siete miembros, a saber: un Presidente, un Presidente Alterno, un Secretario Científico, un Vocal 1º, un Vocal 2º, un Vocal 1º Alterno y un Vocal Alterno 2º. En la resolución citada, en dos anexos, se dio la lista de los cuarenta miembros del Plenario de Miembros.

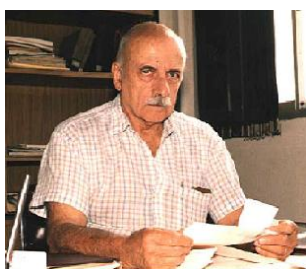
Los miembros de la primera Junta Ejecutiva fueron, en el orden mencionado, los Dres. Alberto E. Cassano y Jorge J. Ronco, la Ing. Mirtha Susana Bidner, los Ings. Juan Carlos Ferreri, Arnaldo Blumenkrantz y José M. Pedroni y la Dra. Ursula Bohm de Bordenave.

Debo decir que la nómina inicial de miembros plenarios incluye un conjunto de personalidades que han sido y aún son parte del activo desarrollo de la ciencia y la

tecnología en el área de la transferencia de calor y materia, habiendo llegado a posiciones descollantes en sus respectivas especializaciones.

En lo que sigue se consideran brevemente las semblanzas de los Dres. Jorge J. Ronco, Alberto E. Cassano y Julio Alcides Deiber, este último en su carácter de segundo Presidente de la Junta Ejecutiva. Las someras semblanzas presentadas solamente pueden introducir a los mencionados, mereciendo los dos primeros, en su carácter de prominentes pioneros, un espacio mucho mayor que no es posible considerar aquí.

Dr. Jorge J. Ronco (1920-2001)



Creador, líder y pionero en la Ingeniería y la Tecnología Química. Hizo mucho e hizo bien. Fue perseguido y luego reivindicado. El CONICET lo cobijó en 1976. Impulsó la formación en los 60-70 de notables investigadores (luego también miembros del CAMAT) y los “dispersó” en el país para formar escuelas. No es posible resumir todo lo hecho por el Dr. Ronco de manera simple. Editó la *Revista Latinoamericana de Ingeniería Química y Química Aplicada* y la *de Transferencia de Calor y Materia*. Fue el primer Presidente Alterno del CAMAT, entre 1977 y 1983. El Autor tuvo la fortuna de gozar de su generosa consideración.

Es conveniente introducir aquí una cita:

“La vida profesional de Jorge Ronco constituye una magnífica síntesis acerca de la profunda interacción que debe sustentar el adecuado equilibrio entre las actividades de investigación y la docencia. Los pilares educativo y científico-tecnológico constituyen el basamento de la sociedad del conocimiento y, en ambos, Jorge Ronco fue un líder, un pionero y un fino artesano.” (Ing. Mario A. Remetín, IESE, 2002)

Dr. Alberto E. Cassano (1935-2014)



(Semblanza extractada de la página web del CONICET) El Dr. Cassano, reconocido a nivel nacional e internacional por su amplia trayectoria como científico y docente de la Universidad Nacional del Litoral (UNL), se destacó por haber sido fundador del Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química (INTEC), del cual se desprendieron los actuales INGAR, IMAL, IFIS y CIMEC. También fue director del CERIDE, actual Centro Científico

Tecnológico Santa Fe, y presidente del Parque Tecnológico. Su ingreso al CONICET como investigador fue en el año 1976, alcanzando la categoría de Investigador Superior a los 41 años y, en el año 2007, de Investigador Superior Emérito. Se especializó en el análisis y diseño de reactores químicos. Fue Presidente del CAMAT entre 1977 y 1983. Con una destacada labor en investigación y en la gestión, es considerado uno de los precursores de la Ciencia y Tecnología en Santa Fe. En el INTEC fue Director General del Proyecto Planta Experimental de Agua Pesada por contrato con la CNEA, y promotor del Grupo de Física de los Materiales y del actual Instituto de Matemática Aplicada del Litoral (IMAL) y del Centro Internacional de Métodos Computacionales en Ingeniería (CIMEC). Tuvo una amplia y reconocida trayectoria, habiendo recibido por ello galardones de excelencia.

Dr. Julio Alcides Deiber



El Dr. Deiber se graduó como Ingeniero Químico en la Universidad Nacional del Litoral (UNL). Se doctoró en Ingeniería Química en la Universidad de Princeton (EEUU) recibiendo el Wallace Honorific Fellowship in Engineering, donde continuó como Research Associate especializándose en reología, reometría, mecánica de fluidos y transferencia de energía y materia acoplada con electrocinética. Fue también profesor visitante durante un año en la Universidad de Illinois, Urbana-Champaign (EEUU). Sus actividades académicas en el país las realizó como Profesor Titular Dedicación Exclusiva en la UNL, enseñando en el grado y el postgrado. Fue miembro de la CIC del CONICET como Investigador Superior con sede en el INTEC-CONICET-UNL. Se desempeñó en múltiples actividades de organización científica tales como Presidente del Comité Argentino de Transferencia de Calor y Materia (CAMAT) entre 1983 y 1988 y del Centro Latinoamericano de Transferencia de Calor y Materia (CLATCAMA). Continúa investigando en el INTEC-CONICET como Investigador Superior jubilado en proyectos de investigación que dirige, con la participación de becarios e investigadores profesionales.

El Autor fue el tercer Presidente del CAMAT, entre 1988 y 1995, cuando el CONICET lo disolvió. Su semblanza puede encontrarse en www.ciencias.org.ar

Actividades desarrolladas por el CAMAT

¿Qué hacía el CAMAT en la práctica? De los objetivos mencionados en su formación, la actividad primaria fue la promoción del conocimiento en el área de la transferencia de calor y materia (TCyM) y para ello:

- i. Organizaba seminarios sobre aspectos diversos de la TCyM en Buenos Aires y en el interior del país, solicitando y obteniendo (hasta 1993) del CONICET los fondos para los pasajes y estadías de los disertantes. La asistencia habitual consistía (al menos) en unos treinta participantes.
- ii. Publicaba los “Cuadernos de CAMAT”, cerca de cuarenta de ellos, con las presentaciones y su discusión y los repartía entre las instituciones miembro y sus miembros individuales
- iii. Editaba, con fondos provistos por el CONICET, la *Revista Latinoamericana de Transferencia de Calor y Materia* (junto con la *Revista Latinoamericana de Ingeniería Química y Química Aplicada* dieron lugar a *Latin American Applied Research*)
- iv. Cerró su actividad de promoción del conocimiento con la Escuela Latinoamericana de Transferencia de Calor y Materia, 1992

La Escuela de Transferencia de Calor y Materia

En 1992 el CAMAT organizó la ECAMAT’92, primera escuela de TCyM, que tuvo lugar en la sede de la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNCPBA) en Tandil. La realización fue entre los días 3 y 12 de septiembre y fue coorganizada por el Dr. Roberto Gratton (1941-2014) y el Autor. Esta escuela tuvo once docentes y veintiocho alumnos graduados. Las clases consistían en Seminarios de unas cuatro horas de duración y abarcaron temas esenciales para la TCyM, e.g. los fundamentos, las técnicas experimentales, los métodos analíticos y los modelos numéricos y, como ejemplo de todos esos aspectos básicos, la aplicación para el caso particular de la Tecnología de los Alimentos. Es interesante notar que muchos de los que asistieron como alumnos y que tenían edades en general menor a los treinta años, tienen hoy posiciones muy destacadas en el área de la Ciencia, la Ingeniería y la Tecnología. El CONICET, la UNCPBA y la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) hicieron posible la asistencia de los profesores y los alumnos solventando los gastos de viaje y estadía.

La composición gráfica adjunta testimonia la realización de esa escuela y está tomada de una entrevista realizada por un diario local.

EXACTAS NUEVAMENTE RECONOCIDA

PRIMERA ESCUELA DE POST-GRADO

Desde el pasado jueves 3 y hasta el 12 de este mes se desarrolla en el aula 5 de Exactas la Primera Escuela de Post grado en Transferencia de calor y materia, organizada por el C.A.M.A.T. (Comité Argentino de Transferencia de Calor y Materia). LA MAÑANA se acercó hasta allí, para dialogar con el presidente del mismo, Ing. Juan Carlos Ferreri y con el decano de la facultad sede, Dr. Roberto Gratton.



Asistentes al curso

Con el objetivo de conocer los pormenores de la ECAMAT (Escuela sobre transferencia de calor y materia), consultamos al Dr. Gratton acerca de la duración de la misma y hacia quienes está dirigida. "Y el decano de Exactas, gentilmente nos explica que "la ECAMAT está dirigida a graduados de todo el país, especialmente de las carreras de física, ingeniería y química, con una duración de 8 días con un total de 60 horas cátedra mas las horas destinadas a prácticos". El Ing. Ferreri interviene, informándonos que el CAMAT fue creado en 1977, con el auspicio en ese entonces del CONICET, de la UNESCO y de un centro internacional para la transferencia de calor y materia. Ing. Ferreri, esta actividad es nueva en la materia?

"Como escuela, si. Lo que no es nueva es la actividad en

cursos a reuniones de carácter científico que hacemos periódicamente. Este número que lleva el cuaderno - señala el encuadernado que se le entrega a los asistentes a la escuela - el número 36 implica que hubo 35 años que son un poco el resumen de los seminarios del CAMAT, que son ciclos de reuniones cortas de 1 o 2 días con seminarios, conferencias, con un especialista que expone y se genera una discusión con los especialistas que asisten.

En esta escuela quienes están participando?

"Como manifestó Gratton, participan graduados de todo el país, de Mar del Plata, Santa Fe, Rosario, Salta, Mendoza, Buenos Aires.

Cómo se elige Tandil, para ser sede de esta Primera Escuela de Postgrado?

"En los antecedentes que elevé para la realización de esta escuela puse énfasis en tres aspectos: por un lado, que

hay experiencia previa en eventos de esta naturaleza, y esos antecedentes son exitosos, en ese sentido Tandil merece respeto; por otro parte, la ciudad es acogedora, el medio es receptivo para este tipo de cosas, y además, por ser una ciudad pequeña, hace mas humano todo."

De que manera se realizó la inscripción?

Dr. R. G.: "Se envió un desplegable a un numero considerable de centros y universidades. Las inscripciones fue-

ron enviadas directamente al CAMAT. Este hizo una selección entre los aspirantes y en base a ella se dio una asistencia económica a 15 participantes. Otros vinieron con apoyo de las instituciones de las cuales dependen. No hay cupo, pero por razones prácticas se trata de reunir alrededor de no mas de 30 personas."

Cual es la perspectiva de continuidad de estas actividades? Ing. J.C.F.: La idea es que se puedan reali-

zar en forma bienal como mínimo. Le hemos dado a esta escuela un carácter asociado a los aspectos fundamentales de transferencia de la materia, pero lo que ahora aparece en varios capítulos, puede ser agrupado en la próxima escuela, y entonces habrá 3 o 4 capítulos fundamentales y el resto va a ser aplicaciones directamente desde la tecnología alimentaria, como en este caso está puesta, o procesos de cáustico, cosas que

tienen que ver por otra parte con la transferencia de materia, cuya especificidad haga que un especialista de un módulo de 4 horas dadas de exposición. Duro en cuanto a que es duro todo ese conocimiento y por eso el volumen de estas notas. Vamos a recopilar los aspectos fundamentales en forma mucho mas concisa que esta vez y poner énfasis en las aplicaciones a través de 5 o 6 módulos de aplicación estricta.

CONTENIDOS DE LA ECAMAT '92

La actividad de la ECAMAT '92 se halla distribuida en 11 capítulos, a saber:

Capítulo 1: Balances integrales y locales del Cuerpo Puro incluyendo viscoelasticidad, a cargo del Dr. Julio A. DEIBER.

Capítulo 2: Transferencia de calor y materia con cambio de fase. Dr. Domingo TARZIA.

Capítulo 3: Procesos de radiación, Dr. Ruben D. PIACENTINI.

Capítulo 4: Métodos experimentales en transferencia de calor y materia: transferencia de calor, Dr. José CONVERTI.

Capítulo 5: Métodos experimentales en transferencia de calor y materia: transferencia de materia, Dra. Ursula Böhm de Bordenave.

Capítulo 6: Métodos analíticos en transferencia de calor, Dr. José CONVERTI.

Capítulo 7: Técnicas computacionales en T.C. y M.: Dife-

rencias finitas, Ing. Juan Carlos FERRERI.

Capítulo 8: Técnicas computacionales en T.C. y M.: métodos estadísticos, Dr. Guillermo MARSHALL.

Capítulo 9: Técnicas computacionales en T.C. y M.: elementos finitos, Ings. Fernando Bascombi y Marcelo Vénere.

Capítulo 11: Transferencia de calor y materia en criotecnología de alimentos, Dr. Rodolfo MASCHERONI.

¿QUE ES EL CAMAT?

El COMITÉ ARGENTINO DE TRANSFERENCIA DE CALOR Y MATERIA (CAMAT) es un organismo constituido con el auspicio del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) con el objeto de asesorar, promover, coordinar y ejecutar las actividades científicas, tecnológicas y de desarrollo en el área de los programas básicos y aplicados que involucran procesos de transferencia de calor y materia, y fenómenos de transporte relacionados. Este año y en forma conjunta con la Facultad de Cs. Exactas de la UNCPBA y la Gerencia de Seguridad Radiológica y Nuclear (CNEA), ha organizado esta Primera Escuela de Postgrado en transferencia de calor y materia, que se está llevando a cabo desde el día 3 y hasta el 12 de setiembre inclusive en nuestra ciudad.

diario regional

la mañana

de las sierras

Tandil, Jueves 10 de Septiembre de 1992

Año 1 - Nº 24

Precio de tapa: \$ 0,70

Testimonio gráfico sobre la ECAMAT'92 a partir de un diario local del día 10/9/1992

No obstante el éxito de esa primera ECAMAT, la disolución del CAMAT no permitió continuar la serie que apuntaba a las aplicaciones específicas de la TCyM.

El “Legado” del CAMAT

Está objetivamente constituido por: a) toda la documentación histórica del CAMAT, preservada con cuidado en el sector de archivo y depósito de la Autoridad Regulatoria Nuclear en el Centro Atómico Ezeiza; b) la colección completa de la *Revista Latinoamericana de Transferencia de Calor y Materia*; c) un ejemplar impreso de casi todos (40 circa) los “Cuadernos del CAMAT” donde quedaron registradas las conferencias presentadas en los Seminarios del CAMAT y d) el cuaderno especial correspondiente a la ECAMAT’92. Como será evidente por lo que sigue, todo este material está ahora a cargo del Dr. Mauricio Chocrón y su colaboradora, la Ing. María Cecilia Conti (ambos de CAC-CNEA).

Los “herederos” del CAMAT en la Actividad ECAMAT de la ANCBA

El Dr. Mauricio Chocrón, a cargo de la Gerencia de Procesos Químicos de la CNEA en el Centro Atómico Constituyentes y que fuese alumno en la ECAMAT’92, consideró que sería de interés generar un foro de difusión del conocimiento en el área de la TCyM, similar al CAMAT. Es así que motivado por ello y en el ámbito del Instituto de Estudios de Ciencia y Tecnología “Amílcar Argüelles” (IECyT-AA) de la ANCBA, su Director –el Académico Dr. Fausto T. Gratton- decidió la creación de una nueva actividad denominada “Estudios de Transferencia de Calor y Materia” con el acrónimo ECAMAT. Esta actividad está a cargo del Autor y del Dr. Mauricio Chocrón, con una Secretaría Técnica y Científica a cargo de la Ing. María Cecilia Conti. La creación de la Actividad ECAMAT fue convalidada en la Sesión Privada Ordinaria de la ANCBA del día 30 de julio de 2014.

El objeto de la ECAMAT está especificado a partir de su definición: “La ECAMAT es una actividad constituida en el ámbito del IECyT-AA de la Academia Nacional de Ciencias de Buenos Aires con el objeto de asesorar y de promover actividades científicas, tecnológicas y de desarrollo, en el área de los procesos básicos y aplicados que involucren procesos de transferencia de calor y materia y fenómenos de transporte relacionados.” Esta definición es consistente con la del CAMAT original y por ello las funciones 1 a 10 del CAMAT son de aplicación directa para su accionar. Los integrantes de la ECAMAT serán progresivamente incorporados como Miembros Asociados del IECyT-AA (ver la pestaña del IECyT-AA en la página web de la ANCBA: www.ciencias.org.ar).

Los Miembros “fundadores” de la ECAMAT son: Dres. Mauricio Chocrón, Alejandro Clause, Rodolfo Mascheroni y Miguel Laborde, Ing. María Cecilia Conti y el Autor. Las designaciones son de carácter honorífico.

La ECAMAT tiene un isologo, creado por la Sra. Edith E. Luna (IEDS-CNEA) que se muestra a continuación.



Conclusión

La creación de la ECAMAT permite dar un nuevo comienzo a una actividad que mostró ser fructífera y que se discontinuó por casi veinte años. Esta condición no es única en nuestro país, siendo la actividad nuclear industrial un ejemplo paradigmático de lo expresado. Una generación posterior a la de los iniciadores ha retomado entusiastamente la actividad en el ámbito del IECyT-AA de la ANCBA y es el sincero deseo de ésta que ese entusiasmo perdure. Ello es coherente con la acción de promoción del conocimiento de la ANCBA desde 1935 y por ello, en su nombre, el Autor recibe a la ECAMAT con verdadera alegría. El lema “*Scientia tenebras vincit*”, como promueve la ANCBA, deberá regir su accionar.

El presente Primer Seminario de ECAMAT es el primer y promisorio paso de la actividad, cuyo programa técnico y la importante concurrencia de investigadores *senior* y en formación así lo atestiguan. Muchas gracias por la atención.

TRANSFERENCIA DE MASA EN TECNOLOGÍA NUCLEAR

MAURICIO CHOCRÓN³

Resumen:

En el presente trabajo, escrito para la apertura de ECAMAT (Estudios de Transferencia de Calor y Materia, IECyT-AA, ANCBA) 2014, a los efectos de disponer en delante de un marco de referencia, se realiza en primer lugar una breve revisión histórica tanto de la génesis de la Ingeniería Química (IQ) como de sus aplicaciones a la Tecnología Nuclear (TN), se mencionan los principales aspectos que ésta última comprende y finalmente se detallan dos aplicaciones y los fenómenos de transporte que comprenden: la primera etapa de la obtención y purificación del Uranio a partir del mineral y los objetivos de la Química de Reactores para reactores refrigerados por agua subenfriada. Finalmente se mencionan posibles aspectos de estudio dentro de la Química de Reactores para reactores de IV Generación refrigerados por agua supercrítica y sodio.

Abstract:

In the present paper, written for the opening session of ECAMAT (Studies of Heat and Mass Transfer, IECyT-AA, ANCBA) 2014, and with the purpose of providing a reference frame for future meetings, a short historical review of both: the origin of chemical engineering (Chem.Eng.) and its applications to Nuclear Technology (Nuc.Tech.) are presented as well. For the latter, the main comprising topics are listed while two specific applications are detailed: the first step of the obtention and purification of Uranium from the ore and the objectives of Reactors' Chemistry at Pressurized Water Reactors. Finally, envisaged Reactors Chemistry applications in IV Generation of Nuclear Reactors, i.e., supercritical water and sodium cooled, are also mentioned.

1. Orígenes de la Ingeniería Química:

Se origina en la Industria Química que hacia fines del siglo XIX empleaba químicos que gradualmente debieron enfrentarse a problemas mecánicos, térmicos, eléctricos y de velocidad de suministro de especies para mantener y aumentar el rendimiento, reducir tamaños, tiempos y tiempos de retención y mejorar la seguridad (Kwauk-2004).

De esta forma surgen las Operaciones Unitarias (OU) (Davies-1901 y Walker-1923) físicas y los Procesos Unitarios (PO) (1935-Groggins) primero para síntesis orgánicas (1950-Shreve) y luego inorgánicas. Hasta el momento se manejaban

³ Doctor, Ingeniero. CNEA. chocron@cnea.gov.ar

textos/enciclopedias de Química Industrial-Tecnología Química (Riegel, Ullmann, Kirk y Othmer). En tal sentido, el texto de Hougen, Watson y Ragatz (1954) reúne muchísimos conceptos pero aún mantiene la organización antigua.

Luego se destacan dos publicaciones centrales: *Fenómenos de Transporte* (1958/2002-Bird, Stewart y Lightfoot) y *Molecular Theory of Gases and Liquids* (Hirschfelder, Curtiss y Bird-1954) y *The properties of Gases and Liquids* (Reid, Prausnitz y Poling, 1958-1987). Ambos introducen una extensa revisión de los fenómenos de transporte a la fecha, la generalización de las OU-PU extrayendo los conceptos básicos y su pasaje al continuo y el cálculo de propiedades de transporte para Transferencia de Cantidad de Movimiento (T de CM), Transferencia de Calor (T de C) y Transferencia de Masa (T de M) (Treybal: *Mass Transfer Operations*, 1980 y *Liquid-Liquid Extraction*, 1958). Posteriormente aparece la *Ingeniería de las Reacciones Químicas* (IRQ) o *Diseño de Reactores Químicos* (Levenspiel-1962) que continúa el avance.

En Mecánica de Fluidos pueden citarse a Prandtl/Schlichting (1931-1969), en matemáticas aplicadas a Carslaw y Jaeger (1946-1988) y luego una extensa producción en técnicas matemáticas aplicadas a Fenómenos de Transporte (F de T), sin olvidar el vínculo con termodinámica de los procesos irreversibles (De Groote y Mazur-1984, Haase-1969).

Actualmente la Ingeniería Química (IQ) es ampliamente versátil y se aplica a numerosas tecnologías algunas con poco de química. Podemos decir que el desafío presente es el de los sistemas complejos (ej. Multicomponente/multifásicos) y multiescala (mini y micro procesos). En todo lo anterior participan físicos, químicos, fisicoquímicos, Ing. químicos, ambientales, en materiales, biólogos y bioquímicos e Ing. nucleares.

2. Transferencia de Masa

Dentro de la estructura anterior la T de M es tal vez la más elusiva. Tanto es así que aun excelentes libros y programas de estudio, orientados a Ingeniería Mecánica (Incropera), la dejan para la última parte, quedando los alumnos de grado con una reducida comprensión del tema y todo lo que abarca. Se podría definir la T de M como el pasaje de una especie química a través de otras con el objeto de su separación o concentración. Ello puede ser en un medio restringido o abierto (tubos, poros, capilares), desde y hacia distintas fases (S-L, L-L, G-S), continuos o discretos, con o sin cargas, sólo con dos especies o multiespecie (Faghri 2006), acoplados T de M y T de C, acoplados a reacciones químicas, en polímeros, membranas o filmes, en sistemas biológicos, etc. (Bird 2004). A su vez, el proceso separativo puede ser controlado por el equilibrio o por la cinética (King-1980)

Tabla I: Clasificación de los fenómenos de T de M

Fenómeno	Clasificación y posibles soluciones
Difusión molecular	Difusión pura Existe convección “autogenerada”. Debe definirse una velocidad media (modelo explícito en los flujos). Modelos de Fick y de Maxwell-Stefan
Convección forzada. La velocidad es impuesta en forma externa	Régimen laminar: permite soluciones analíticas, p.ej. mediante la Teoría de la Capa Límite Modelos de Interface: del doble film, de renovación de la superficie, de film turbulento. Modelos de turbulencia: longitud de mezcla, capa límite turbulenta, turbulencia directa Régimen turbulento: soluciones mediante experimentación , conducen al “Coeficiente de Transferencia de Masa”
Convección natural por diferencia de densidad inducida por diferencia de concentración	Existen soluciones en régimen laminar mediante la teoría de la capa límite
Difusión-convección en medios porosos y sólidos	Sin reacción química Con reacción química

Un resumen de los modelos y su evolución se presenta en la Tabla siguiente (Cuaderno CAMAT-Enseñanza de los F de T y Himmelblau-1976):

Tabla II: Modelos en Fenómenos de Transporte

Balances globales
"cajas", conducen a EAL y EANL (Ecuaciones Algebraicas Lineales y No Lineales)
Balances Macroscópicos
Propiedades homogéneas
Sin distribuciones espaciales
Sólo distribuciones en las superficies de contorno
En estado estacionario conducen a EANL
Variaciones temporales conducen a EDOL/EDONL (Ecuaciones Diferenciales Ordinarias Lineales y No Lineales)
Balances Diferenciales
generales 2-3 D, conducen a EDP (Ecuaciones en Derivadas Parciales)
con coeficientes y velocidades variables
con coeficientes constantes y velocidad media
Unidimensionales conducen a Ecuaciones Diferenciales Ordinarias (EDO)
Balances entre fases: principio de la transferencia de materia
Distribución espacial en una fase (EDO de orden 2) y Balance Macroscópico en la otra
Están vinculadas por el flujo

La Tabla que continúa muestra algunos de los tópicos de matemáticas que intervienen (Amudson)

Tabla III: Tópicos de Matemáticas

Matrices y Aplicaciones:
EANL: Ecuaciones algebraicas no lineales
EAL: Ecuaciones Algebraicas lineales
Diagonalización - Direcciones principales-Autovalores
Vectores y teoremas vectoriales
Sistemas de coordenadas-Jacobianos
Integrales de línea, superficie y volumen
Tensores: conceptos elementales
Ecuaciones diferenciales
EDOL: Ecuaciones diferenciales ordinarias lineales
EDONL: Ecuaciones diferenciales ordinarias no lineales
EDP: Ecuaciones en derivadas parciales
Estabilidad-bifurcaciones
Series
Perturbaciones y aprox. asintóticas
Soluciones aproximadas y funciones especiales
Variable compleja
Ondas-Transformadas de Fourier y Laplace-otras

3. Transferencia de Masa en Tecnología Nuclear

En el ámbito de la TN, en su mayoría se conoce la evolución desde la perspectiva de la Física (Descubrimiento de la radiactividad, radiaciones y rayos X: Becquerel, Röntgen, Curie) en la década de 1890 hasta la fisión y reacción en cadena (Hahn-Meiner, Szilard),

la teoría atómica y estructura nuclear (Bohr), todo ello magníficamente relatado en “*The making of the atomic Bomb*” (Rhodes, 1988).

En nuestro país, ya con larga trayectoria, pueden citarse a Mariscotti (*El secreto atómico* de Huemul-2004), López Dávalos-Badino (Balseiro-1999), Bernaola (Gaviola-2001) y más recientemente D. Hurtado (*La Argentina Atómica*-2014, *La Ciencia Argentina*-2012).

Se considera que en todos los casos, ha sido necesario obtener y sobre todo producir en gran escala especies que en la naturaleza bien se encuentran muy diluidas, no se conocían puras, se desconocían sus propiedades o directamente no existían:

Agua pesada, D_2O (~150 ppm, concentración requerida 6500 veces): destilación, electrólisis, intercambio isotópico (Conde: *La planta Industrial de Agua Pesada*-2000).

Isótopos físi les ^{235}U (con métodos electrodinámicos, espectrometría de masas, mecánicos: centrifugación, de T de M: difusión gaseosa, termodifusión en fase gaseosa y líquida, y combinados: centrifugación más termodifusión, laser: Se ve que no se trata de ninguna OU o PQ convencional para la época).

Isótopos de venenos neutrónicos solubles: ^{10}B y sólidos: Hf, Cd.

Isótopos de aditivos: 7Li

Productos formados en los Elementos Combustibles (EECC) a partir de otros y que a su vez son productores de energía en distintos ciclos de combustible (reprocesamiento: Pu y separación de actínidos) (DOE Hanford-B Reactor Museum Association).

Obtención y purificación de elementos que forman materiales estructurales de los reactores: Zr

Posiblemente se deba considerar que antes de todos ellos o en simultáneo con algunos, la obtención de U (y en el futuro Th) puro a partir de minerales se realiza en dos etapas: (1) hasta el denominado Yellow Cake (desde minerales que contienen por ejemplo unas 1000 ppm, concentración requerida 1000 veces) y (2) su repurificación posterior.

En este contexto fueron convocados Químicos (Q) e Ingenieros Químicos poseedores de la experiencia de la época para llevar a cabo en gran escala lo que entonces se conocía en sólo muy pequeñas proporciones y parecía imposible de lograr. Dentro de los personajes que participaron, cuyos nombres son conocidos por todo estudiante de IQ, tal vez sin saber su origen están, entre muchos otros, Egar Murphree (que desarrolló el cracking catalítico en la entonces Standard Oil) debido a la eficiencia de las columnas de destilación y absorción y que luego participó en el Proyecto Manhattan. También Manson Benedict (Fisicoquímico, ecuación de estado de Benedict-Webb-Rubin, Nuclear

Chemical Engineering: 1957-1981, dedicado a la producción de insumos en la TN) desarrolló la difusión gaseosa y Thomas Pigford (Físico, Operaciones de transferencia de Masa, con actividades en reprocesamiento, seguridad, diseño de reactores) luego de actuar en proyectos relativos, crearon en dos universidades (1951 y 1958, California y MIT) carreras de Ingeniería Química Nuclear e Ingeniería Nuclear.

En resumen, de la breve reseña anterior, biografías y lectura de prólogos de libros ya clásicos y sus nuevas ediciones, se observa que el desarrollo de la TN ha tenido un gran impacto sobre la IQ, su transformación en ciencia y ello se detecta siguiendo los nombres que nos son muy conocidos y cuya trayectoria, no tan común como la de los físicos que iniciaron la era atómica, nos es menos familiar.

4. Aplicaciones en Tecnología Nuclear

4.1 Producción de Uranio hasta la primera etapa de purificación.

Los minerales que contienen U (en los cuales el mismo se encuentra en bajas concentraciones: 1 a 2000 ppm), muchas veces también contienen elementos que, si bien son de valor industrial más o menos elevado, constituyen para el mismo un contaminante y por lo tanto deben separarse. Ello se realiza en 1^{ra} etapa mediante distintas tecnologías.

El proceso completo puede estar constituido por:

- Extracción del mineral y transporte a la planta
 - Molienda
 - Trituración
 - Pasaje a solución: lixiviación (ácida o alcalina, i.e. extracción líquido-sólido): en pilas, en batch o continuo
 - Separaciones físicas: sedimentación, filtración y lavado.
 - Purificación mediante retención selectiva en resinas y posterior elución o
 - Purificación mediante extracción selectiva y posterior re-extracción selectiva (i.e. extracción líquido-líquido)*
 - Precipitación
 - Lavado y secado del UO_2 .
 - Calcinado del UO_2
-
- *De la reextracción selectiva del U continúan en fase orgánica elementos que, según su valor pueden ser también recuperados por OU y PU similares.

Actualmente, para que un proceso sea técnica, económica y ambientalmente factible también deben considerarse:

- Reducción del uso de energía
- Reducción y reciclaje de agentes químicos
- Reducción apreciable de liberación de agentes químicos
- Reducción apreciable del empleo de agua y su reciclaje

Por lo tanto en lo anterior se identifica una amplia gama de OU y PU que implican F de T y en particular de T de M.

El concepto de un proceso de purificación de Uranio se presenta en la Figura 1 (La Gamma-ISEC 2008).

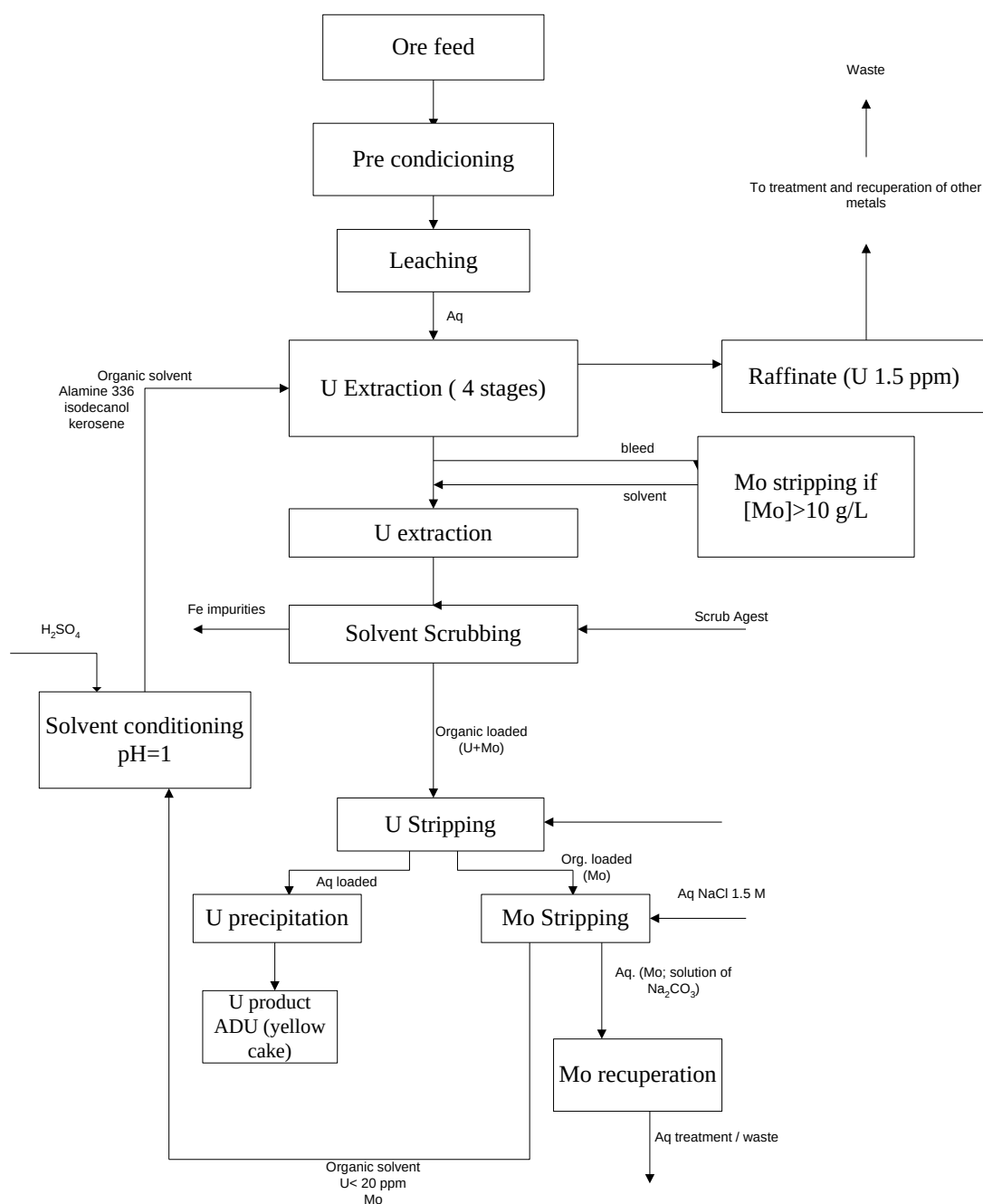


Figura 1: Esquema de un proceso de obtención y purificación de Uranio a partir del mineral

4.2 Aplicaciones en Centrales Nucleares

Tal vez menos conocido que los ejemplos anteriores de producción de insumos nucleares es el de la Química de Reactores (QR) y Procesos dentro de la propia central (Cohen-Water Coolant Technology of Power Reactors, 1969 y 1985). En tal sentido, Paul Cohen, fisicoquímico con antecedentes en Westinghouse (1949) es la base de la

temática si bien existe multitud de publicaciones anteriores. Como reseña, en 1941 se optó por un reactor refrigerado por agua y con moderador de grafito que en 1944 se puso crítico. Luego, la primera central comercial, Shippingport, comenzó a operar en 1957 con antecedentes de Bettis Plant en 1951. Se observó que en el circuito primario, aumentaban tanto los depósitos sobre los EECC y tubos de los intercambiadores de calor, originando lo que luego se denominó transporte de actividad y campos de radiación. Ello originó una nueva rama de la TN denominada Química de Reactores que incluye aspectos que van desde la física, fisicoquímica a la ingeniería química y diseño de procesos, además de radioprotección, blindajes, etc. (Curso de Centrales Nucleares-C.N.E.A.-Maroto. A.J.G., Blesa M.A. y Fernández Prini R.-1976).

Las Centrales Nucleares (CN) refrigeradas por agua (subenfriada, PWR: Pressurized Water Reactor) poseen un circuito primario sin cambio de fase, un circuito agua-vapor o secundario y el circuito terciario (sumidero de calor) que puede ser abierto (toma de río o lago) o semicerrado (caso de torre de enfriamiento). Además existen varios sistemas auxiliares abiertos y cerrados refrigerados por agua.

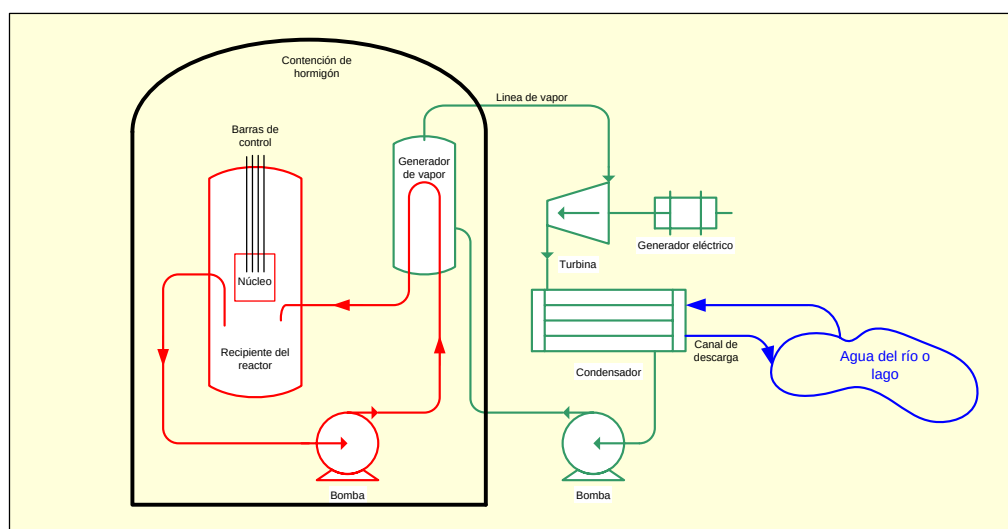


Figura 2: Esquema de una CN tipo PWR de agua a presión

En la secuencia de diseño de una central, una vez establecido el concepto por parte de físicos e ingenieros nucleares, que tienen a cargo las especialidades de neutrónica, diseño del núcleo, termohidráulica y seguridad entre otras, interviene la ingeniería de procesos de circuitos y sistemas de intercambio de calor, de control químico, ingeniería mecánica y especialistas en materiales.

En este punto, en la interface metal-agua aparece la química de reactores, ya que es su cometido en la micro escala, asegurar por una parte la mínima corrosión del material

base y solubilidad del óxido protector en contacto con el refrigerante. Se emplean distintos aditivos que deben generar un medio alcalino (no volátiles en el primario y volátiles en el secundario) y reductor (hidrógeno e hidracina). Si bien la tasa de corrosión y liberación de especies al agua es extremadamente baja al solubilizarse pasan al agua como iones, coloides y partículas.

Al pasar a la escala de magnitudes de la central (miles de metros cuadrados de superficie y caudales del orden de miles de toneladas/hora) los fenómenos anteriores adquieren dimensiones de ingeniería, identificándose así, en relación a T de M y T de C los siguientes:

4.2.1 Circuito Primario (entre 270-330 °C):

- A escala microscópica, el metal base se corroe y se forma, si las condiciones termodinámicas y cinéticas lo favorecen, el óxido protector que a su vez se disuelve. La disolución puede o no estar asistida por la T de M según el material base.
- A escala global, las especies son transportadas convectivamente por el refrigerante, se activan en el núcleo, donde permanecen cierto tiempo, se disuelven nuevamente y depositan en los equipos accesibles (Generadores de Vapor, GVs, e intercambiadores) creando los campos de radiación.
- De ser necesario se procede a una descontaminación para remover isótopos incorporados a los óxidos.
- Actualmente existe una técnica consistente en dosificar al sistema primario una especie que compite en la incorporación a los óxidos con isótopos radiactivos, los cuales al permanecer en solución son removidos por el sistema de purificación.
- Los depósitos pueden generar una resistencia extra a la T de C en los EECC, tubos de los GVs, así como aumento del factor de fricción.
- En los EECC se pueden incorporar a los depósitos de productos de corrosión, si hay ebullición localizada o por diferencias de solubilidad, venenos solubles, que luego alteran el quemado.
- Los productos de fisión y sus descendientes migran dentro del propio combustible, al espacio pastilla-vaina y luego pueden difundir al refrigerante.
- Radiólisis: bajo radiación el agua se descompone generando radicales, iones y productos finales oxidantes, que se transportan, pasan a fase gaseosa y deben ser por lo tanto controlados.
- El oxígeno, aditivos y los productos de fisión gaseosos, que se remueven del sistema en un desgasificador, pueden retenerse para su decaimiento en tanques o bien en lechos de absorción que contienen carbón activado.

La Tabla IV muestra un esquema de lo anterior.

Tabla IV: conceptos de Transporte de Actividad

Materiales estructurales	
Disolución de iones	Liberación de partículas de óxido
Refrigerante del reactor	
Absorción de iones	Deposición de crudo
Activación en el combustible	
Liberación de iones	Remoción de partículas
Deposición en cañerías y equipos de intercambio de calor fuera del núcleo	

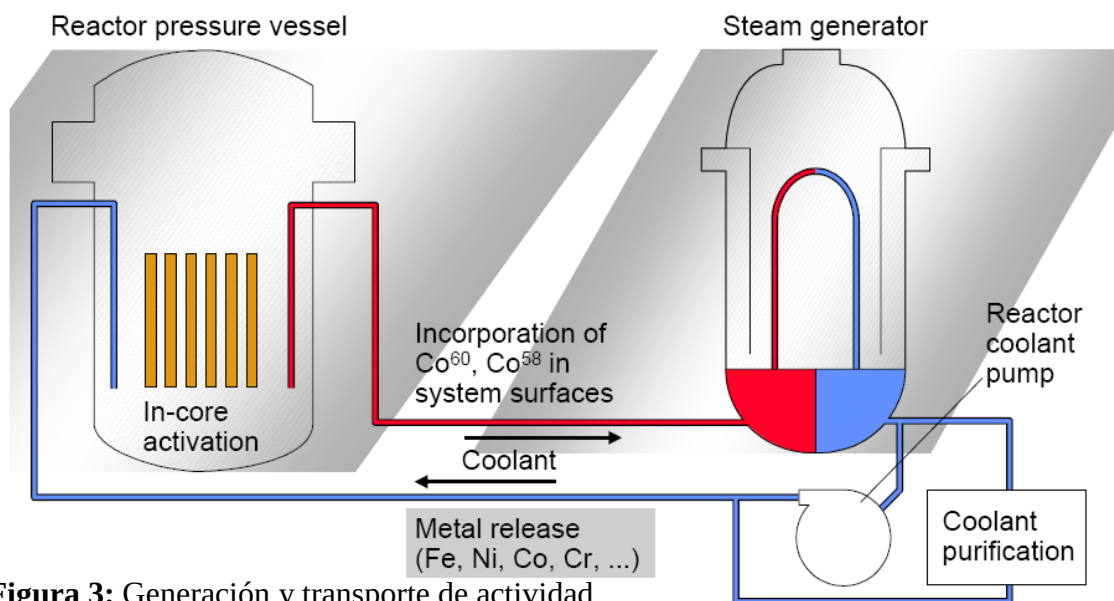


Figura 3: Generación y transporte de actividad

El control de la corrosión, del transporte y de la radiólisis, se realiza mediante aditivos solubles no volátiles (Hidróxido de Litio), agentes reductores (Hidrógeno) y una purificación continua mediante filtros y resinas de intercambio iónico.

4.2.2 Circuitos intermedios y auxiliares

Una CN tiene notable número de sistemas en los que se producen fenómenos de corrosión y de T de M, y que requieren control mediante aditivos o remoción de especies, tales como:

En el reactor de agua pesada tipo CANDU (CANDU Technical Outline rev. 6): sistema del moderador, sistema de gas anular, sistema de blindaje extremo, sistema de zonas líquidas, entre otros.

Refrigeración del alternador

De existir: Circuitos cerrados intermedios de refrigeración asegurada

Finalmente las centrales de agua pesada poseen un sistema, más bien una verdadera planta, de recuperación, purificación y concentración por destilación del agua pesada para mantener la pureza isotópica requerida en el reactor.

4.2.3 Circuito secundario (L-V entre 30-280 °C):

- Existe una transferencia neta de especies hacia los GVs por convección (generadas por corrosión y corrosión asistida por flujo (CAF), en la interface metal-óxido y óxido-agua), donde aquellas no volátiles se concentran creando los denominados barros: medio metálico poroso y depósitos sobre los tubos (Saucedo-2006). Ambos son promotores de corrosión e interfieren en la T de C.

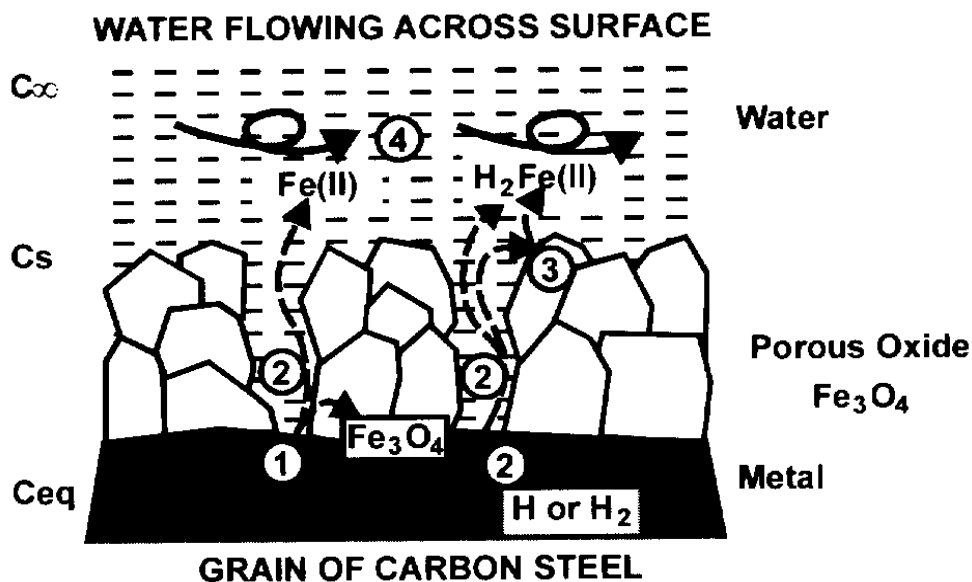


Figura 4: Proceso de CAF a nivel microscópico

- Los depósitos sobre los tubos producen un gradual aumento de temperatura del sistema primario, que lleva a que, al cabo de varios años sea necesario reducir la presión en el secundario con la consiguiente baja de rendimiento global. Se procede entonces a una limpieza química.
- Impurezas iónicas pueden ingresar al circuito en el punto de más baja presión (condensador) y ser transportadas convectivamente a los generadores de vapor acumulándose en los barros.
- Existe cierto transporte de iones con el vapor hacia las turbinas y resto del ciclo térmico.

El control se realiza:

- Removiendo el Oxígeno en forma mecánica por vacío en el condensador y mediante una columna de intercambio (o dispositivo similar) en el tanque de agua de alimentación
- El resto se elimina en forma química mediante aditivos. Es necesario que un ligero exceso ingrese a los GVs para asegurar un medio reductor.
- El medio alcalino se genera con aditivos volátiles que se distribuyen en todo el ciclo térmico.
- Actualmente se está trabajando con aditivos formadores de película, que se distribuyen en el ciclo térmico, generando un film que protege contra la corrosión, limitando el ingreso de especies oxidantes, mejorando la humectabilidad (promoviendo la condensación en gotas) y reduciendo el factor de fricción.

4.2.3 Empleo de vapor y agua de baja energía (menor de 180 °C):

Actualmente, se está en proceso de diseño de sistemas para recuperar calor de baja temperatura, a los efectos de emplearlo entre otros fines para obtener agua de calidad nuclear o de uso industrial. Ello implicará circuitos en los cuales se producirán algunos de los fenómenos de transporte anteriores, que será necesario conocer y controlar (Conti-2013).

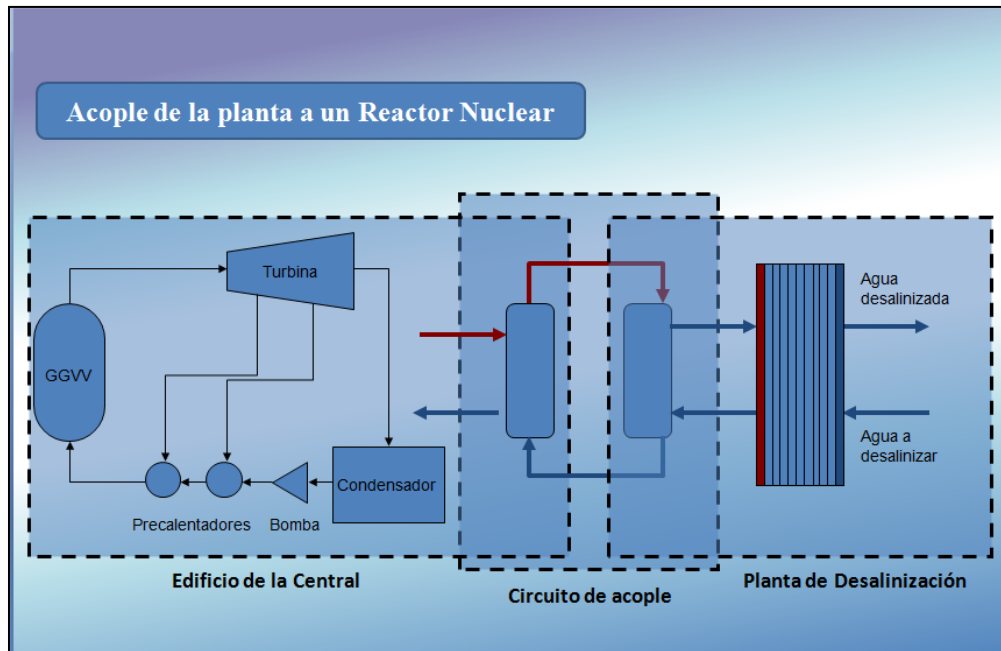


Figura 5: acople de sistemas para el empleo de energía de baja temperatura

Finalmente, a todo lo anterior se suma que, como en el diseño y operación se prioriza la seguridad, es necesario conocer y manejar normas de aplicación nacionales (ARN), Guías y Recomendaciones de Organismos Internacionales (OIEA, WANO), códigos de cálculo y experiencia operativa. Finalmente la documentación de procesos se materializa en la Ingeniería básica consistente en planos de cañerías e instrumentos, memoria descriptiva, hojas de datos, listas de líneas, válvulas, etc.

5. Futuro

5.1 Reactores refrigerados por agua integrados

- Dado que en el Recipiente de Presión del Reactor (RPR), que contiene a los GVs, existen las dos fases, todos los procesos anteriores se encuentran en el mismo recipiente, debiendo decidir qué se prioriza y cómo se controla (i.e.: corrosión vs. transporte). (IAEA Tecdoc 1451-2005)
- Generadores de vapor acuotubulares: requieren una acentuada reducción del transporte desde el circuito secundario. El aumento de la Presión y Temperatura de operación y posiblemente el sobrecalentamiento del vapor introducen condiciones poco empleadas en tecnología nuclear.
- Reactores compactos de alto quemado: Presentan largos tiempos de residencia de los EECC, y posiblemente más alta concentración de venenos solubles, por lo tanto la química será muy exigida para reducir la corrosión y el transporte. Igualmente el

sistema de purificación deberá ser cuidadosamente diseñado al efecto. Ídem para reducción del transporte desde el Circuito secundario (CS) con el objeto de minimizar fallas en los GVs (IAEA Tecdoc 1536-2007).

5.2 Reactores de IV Generación.

5.2.1 Reactor de agua supercrítica

Si bien parece una inmediata continuación de los reactores de agua a presión o en ebullición y una posible extensión de los reactores tipo CANDU (Guzonas-2010), se piensa en centrales de un solo circuito, las muy exigentes condiciones de presión y temperatura, la corrosividad del agua supercrítica y cambios fisicoquímicos que suceden en tales condiciones hacen aun difícil establecer firmemente qué fenómenos de T de M ocurren y cuál será el control químico apropiado para ellos (aun cuando, por lo menos para el circuito secundario, parezca una extrapolación de las centrales de combustible fósil que operan en tales condiciones).

5.2.2 El reactor refrigerado con Sodio.

Sin describir en detalle los complejos conceptos que llevan a pensar en su empleo, sólo mencionamos que, dado que el circuito primario opera entre aprox. 390-545 °C, ello implica un aumento del rendimiento de la central en comparación a los reactores refrigerados por agua (de 0,3 a 0,4 o mayor). Por una parte, implica las dificultades de manejar sodio (Punto de fusión 98 °C y Punto de ebullición 882 °C), pero por otra, dada su muy baja presión de vapor, el RPR prácticamente opera a muy baja presión (menor a 10 bar). Se requiere un circuito intermedio (325-538 °C) con sodio no activo que transfiere calor al ciclo secundario (vapor a 503 °C) (IAEA CRP NaPro).

El sodio presenta aceptable interacción con los materiales estructurales y corrosión, controlable interacción con impurezas (solubles, sólidas y gaseosas) y está aceptado como el mejor refrigerante para IV Generación (Latgé-2011).

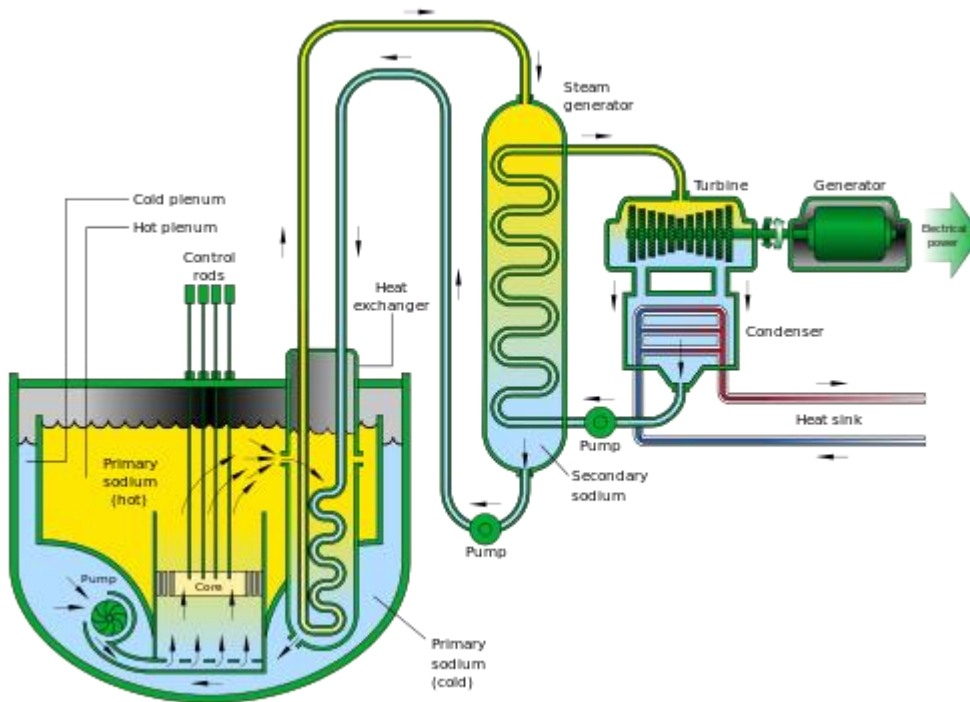


Figura 6: esquema de reactor refrigerado con sodio del tipo piletas

Tomando la secuencia anteriormente descrita para el diseño se tienen las siguientes etapas:

Diseño del reactor

- Núcleo
- EECC
- THI del reactor (alta densidad y viscosidad)-(alta conductividad térmica)
- Variables de proceso (T y P del refrigerante primario y secundario, caudales)
- Propiedades termodinámicas y de transporte- Estabilidad química e impurezas (O e H: Na_2O y NaH)
- Materiales y corrosión – Diseño mecánico

Pureza del refrigerante, T de M y control químico:

- Productos de fisión
- Activación y T de Actividad – solubilidades (se espera un transporte similar a los PWR: deposición en bombas e intercambiadores intermedios)
- Aditivos y otros agentes de control (cubierta o blanket de Ar: T de M del Sodio al gas, transporte y condensación del mismo, Ingreso de O_2 que genera Na_2O , ingreso de H por permeación, trazas de agua con el Ar, etc.)

Equipos auxiliares de purificación y control

- Purificación del refrigerante principal y auxiliar intermedio mediante una trampa fría por cristalización (Na_2O y NaH , fundamental para detectar trazas de ingreso de agua y corrosión en pits de los tubos de los generadores de vapor hacia el sodio refrigerante intermedio y formación de NaOH)
- Ingreso de trazas de O_2 y H_2O mediante el Ar de cubierta y procesos de T de M al sodio.
- Equipo de purificación de especies tales como Na_2O y NaH por cristalización y filtrado.
- Evaporación y condensación del vapor de sodio (trazas) en los equipos del sistema de cubierta de Ar

También deben considerarse:

Procesos para destrucción del sodio activo

Procesos de limpieza para inspección

Bibliografía

- Amudson N.R., *Mathematical Methods in Chemical Engineering*, Prentice-Hall, 1966
- Benedict M., Pigford T., Levi H-W., *Nuclear Chemical Engineering*, McGraw-Hill, 1981
- Bernaola O., *E. Gaviola y el Observatorio Astronómico de Córdoba*, Ed. Saber y Tiempo, 2001
- Bird R.B., *Five Decades of Transport Phenomena*, AIChE J., Vol.50, No 2, 2 February 2004, pp. 73-287
- Bird R.B., Stewart W.E. , Lightfoot E.N., *Transport Phenomena*, J.Wiley ,2002
- CAMAT, *Enseñanza de la Transferencia de Calor y Materia*, Cuaderno Nro. 5, 1980
- CANDU, *Technical Outline Rev. 6 – Atomic Energy of Canada Ltd. - CANDU Operations*.
- Carslaw H.S., Jaeger J.C., *Conduction of Heat in Solids*, Oxford, 1988
- Cohen P., *Water Coolant Technology of Power Reactors*, ANS, 1969 y 1985
- Cohen P., *The ASME Handbook of Water Technology for power systems*, ASME, 1989.
- Clefs No 55-CEA, *Systèmes nucléaires du futur-Génération IV*
- Conde Bidabehere L.F., *Agua Pesada 1980-1994*, Ed. Ciencia y Tecnología, 2000
- Conti M.C., Labollita S., Chocrón M., Halpert S., AATN 2013
- De Groot S.R., Mazur P., *Non-Equilibrium Thermodynamics*, Dover, 1984
- DOE Hanford Document HAN-43508-B Reactor Museum Association: *Prelude to the Atomic Age. The Plutonium Production Process at Hanford*. Cortesía Ing. Santiago Harriague.
- Faghri A, Zhang Y., *Transport Phenomena in Multiphase Systems*, Elsevier, 2006
- Guzonas D.A., “*Chemistry control strategies for a supercritical water-cooled reactor*”. Nuclear Power Chemistry Conference 2010, Quebec, Canada. October 2010.
- Haase R., *Thermodynamics of Irreversible Processes*, Dover, 1969
- Himmelblau D.M., Bischoff K.B., *Análisis y Simulación de Procesos*, Reverté, 1976

Hirschfelder J.O., Curtiss C.F., Bird R.B., *Molecular Theory of Gases and Liquids*, J.Wiley, 1954

Hougen O.A., Watson K.M., Ragatz R.A., *Principios de los Procesos Químicos*, (J. Wiley, 1954), Reverté, 1976

Hurtado D., *El sueño de la Argentina Atómica 1945-2006*, Edhasa , 2014

Hurtado D., *La Ciencia Argentina*, Edhasa, 2012

IAEA Coordinated Research Project on Sodium Properties. Azpitarte O., Japas Ma. L., Chocrón M., 2013-2015.

IAEA Tecdoc 1451, *Small Innovative Small and Medium Reactors*, 2005

IAEA Tecdoc 1536, *Status of Small Reactors without on-site Refuelling*, 2007

Incropera F., *Fundamentals of heat and mass transfer*, J.Wiley 1990

King J.C., *Procesos de Separación*, Reverté, 1980

Kirk, Othmer, *Encyclopedia of Chemical Technology*, J.Wiley, 1999-2014

Kwauk M. , *Beyond Transport Phenomena and reaction engineering*, Chem. Eng.Sci. 59 (2004) 1613-1616

La Gamma A.M., Becquart E., Chocron M., International Solvent Extraction Conference ISEC, Tucson, Arizona, USA, Sept. 2008.

Latgé Ch., *Fast Breeders Reactors Seminar*, CAB-C.N.E.A., 2011.

Levenspiel O., *Chemical Reaction Engineering*, Reverté, 1979

López-Dávalos A.L., Badino N., J.A. Balseiro, *Una Historia de la Física en la Argentina*, Fondo de Cultura Económica, 1999

Mariscotti M.A., *El secreto atómico de Huemul*, Ed. Sigma, 2004

Maroto A.J.G., Blesa M.A., Fernández Prini R., *Curso de Química de Reactores*, Curso de Centrales Nucleares, C.N.E.A., 1976

Morbideilli M. Varma A., *Mathematical Methods in Chemical Engineering*, Oxford, 1997.

Pigford R.L., Sherwood T.K., Wilke Ch.R., *Mass Transfer*, McGraw-Hill, 1975

Reid R.C., Prausnitz J.M., Poling B.E., *The Properties of Gases and Liquids*, McGraw-Hill (1958) 1987

Rhodes R., *The Making of the Atomic Bomb*, Simon & Schuster 1988. Cortesía Dr. Daniel Batistoni y Lic. Ana María La Gamma.

Riegel, *Manual de Química Industrial*, Kent, 1964

Saucedo R. Tesis de Maestría en Reactores Nucleares, U.T.N.-C.N.E.A., "*Gestión de vida del B.O.P. de la Central Nuclear Embalse*", 2006

Saucedo R., Chocrón M., Sainz R., Ovando L., XXXIII AATN, 2006

Schlichting H., *Boundary Layer Theory*, McGraw-Hill, 6th Ed. 1969

Treybal R., *Mass Transfer Operations*, McGraw-Hill, 1980

Treybal R. , *Liquid-Liquid Extraction*, McGraw-Hill, 1958

Ullmann, *Encyclopedia of Industrial Chemistry*, J.Wiley, 7th Ed. 2014 (1914)

Zhang L. et al., "*Theoretical analysis of corrosion by liquid sodium and sodium-potassium*" , Corrosion, Vol.64, No 7, 2008, 563-573

AUTÓMATAS CELULARES PARA TRANSFERENCIA DE CALOR Y MATERIA

ALEJANDRO CLAUSSE⁴

Resumen:

Los autómatas celulares (AC) son modelos numéricos definidos por reglas simples que operan en grillas espaciales, los cuales muestran propiedades colectivas interesantes. Han sido aplicados para la simulación numérica de sistemas complejos, como poblaciones biológicas en competencia, evolución social, y tráfico. En particular los AC son muy útiles para el modelado de TCyM. En este seminario se describen algunas aplicaciones de AC, en especial en mecánica de los fluidos y transferencia de calor en ebullición.

Abstract:

Cellular Automata (CA) are numerical models defined by simple rules operating on spatial grids, which show interesting collective properties. CA have been applied to simulate complex systems, like competing biological populations, social evolution and traffic. In particular, CA are very useful for modelling heat and mass transfer phenomena. In this seminar, some CA applications are described, especially related to fluid mechanics and boiling heat transfer.

La palabra *autómata* suele referirse a una máquina que hace algo por sí sola, en cierta manera imitando a los seres vivientes. En los años '40, Von Neumann comenzó a encarar desde un punto de vista matemático la posibilidad de máquinas autómatas, en particular autómatas cuya operación sea replicarse a sí mismos. El problema resultó ser más difícil de lo que se pensaba, pero a raíz de estos esfuerzos surgió una versión abstracta cuya riqueza abrió innumerables aplicaciones: los autómatas celulares (AC). En esta charla se ofrece una reseña de las aplicaciones de los AC en el modelado de problemas de transferencia de calor y materia.

Un autómata abstracto es una entidad matemática representada por variables que cambian de valor en pasos discretos sucesivos en función de los valores de las variables en el paso anterior, es decir una iteración recursiva. Esta definición muy general se puede especificar restringiendo las posibilidades de las variables y las reglas. Por ejemplo, las variables de un autómata finito toman valores de un conjunto finito de valores; los más comunes son los autómatas binarios, cuyos estados se expresan con ceros y unos.

⁴ CNEA, CONICET y Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.
clausse@exa.unicen.edu.ar

Los AC son autómatas que operan sobre celdas dispuestas en una grilla regular espacial. El estado de cada celda está dado por variables locales y reglas que determinan el estado en un dado paso en función de los estados de la celda y sus vecinas en el paso anterior. Suele reservarse la denominación AC a autómatas finitos, y *grillas de mapas acoplados* cuando las variables toman valores del conjunto de los números reales.

Un ejemplo interesante es el autómata de la hormiga de Langton. Este AC se representa por una hormiga que se mueve en una grilla de dos dimensiones cambiando el color de las células por donde pasa de acuerdo al siguiente juego. Al comenzar el juego todas las casillas son blancas. Cada vez que la hormiga llega a una casilla observa el estado, el cual representamos mediante colores blanco o negro. Si la celda es blanca, la hormiga gira sobre la celda 90 grados en sentido horario, cambia el color de la celda, y avanza una celda. Si la celda es negra hace lo mismo pero gira en sentido antihorario. Dada la simetría de la regla uno esperaría que a medida que la hormiga se mueve se vayan formando figuras geométricas simétricas en la grilla. Efectivamente, esto es lo que ocurre en los primeros pasos. Pero a partir de unos cientos de pasos, la hormiga comienza a describir un movimiento caótico y las figuras que se forman no tienen simetría. Este comportamiento continúa hasta alrededor de diez mil pasos, a partir de los cuales la hormiga comienza a describir un recorrido invariante de 104 pasos que se va repitiendo desplazándose en línea recta indefinidamente. En la Fig. 1 se muestra la figura formada por la hormiga a los 11 mil pasos.



Figura 1. Autómata de Langton a los 11 mil pasos.

Desde el punto de vista de la transferencia de calor y materia, una primera propiedad interesante de algunos AC es que obedecen leyes de conservación. Un ejemplo clásico es el autómata del tráfico, que opera en una grilla unidimensional de celdas binarias (blancas y negras). Las celdas negras representan vehículos y las blancas espacio vacío. La regla es muy simple; en cada paso cada vehículo se mueve hacia la derecha un lugar siempre y

cuando este no esté ocupado por otro vehículo, en cuyo caso no se mueve. En la Fig. 2 se muestra la evolución del autómata. Cada fila es el estado del AC en un dado paso de tiempo, el cual se ordena hacia arriba como indica la flecha. Si asignamos al estado negro el valor 1 y al estado blanco el valor 0, es fácil verificar que en cada fila la suma total de los estados tiene el mismo valor, en este caso 11. O sea, el número total de autos se conserva. Es fácil imaginar la aplicación de éste y otros autómatas parecidos en sistemas de conservación y transporte de masa. Análogamente es posible imaginar reglas simples que conservan impulso.

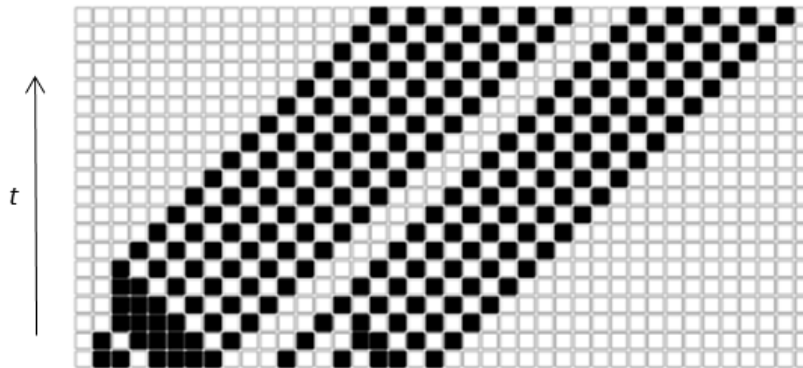


Figura 2. Autómata del tráfico.

Una clase de AC muy útil para aplicaciones en TCM es el autómata bloque. En el autómata bloque se definen vecindarios como dos o más posibles particiones de la grilla, y la regla opera secuencialmente en cada partición. En la Fig. 3 se muestra en líneas azules y líneas rojas las dos particiones de un autómata bloque con vecindarios de 2×2 celdas. La regla define el valor de las cuatro celdas del vecindario en función de sus estados anteriores, y esto se realiza en todos los vecindarios azules primero y luego para todos los rojos, y así sucesivamente.

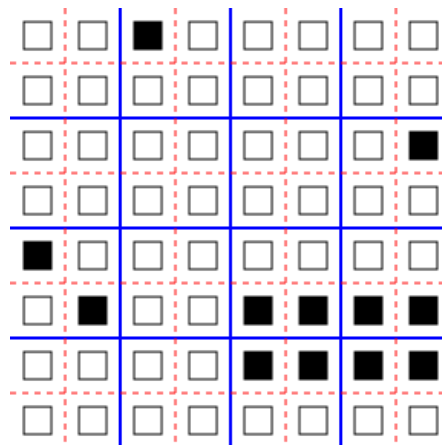


Figura 3. Esquema del autómata bloque. La regla actúa secuencialmente en los vecindarios definidos por las líneas azules y las rojas.

Una aplicación de esta clase de autómatas en fluidos es el autómata AQUA, desarrollado para modelar inundaciones en llanuras (Rinaldi *et al* 2007). Este AC opera sobre vecindarios de 9×9 celdas, con 9 posibles particiones de grilla, de manera que cada celda ocupa todos los posibles lugares de un bloque. Cada celda representa una superficie de terreno caracterizada por la altura local promedio de la tierra. El estado de cada celda está dado por la altura de agua acumulada. En cada paso la regla hace escurrir toda el agua de cada bloque hasta su nivel más bajo, como si el bloque estuviera aislado y cerrado y el agua escurriera por gravedad (ver Fig. 5). El nuevo estado se calcula como una combinación lineal de los estados antes y después del escurrimiento. El parámetro de relajación permite modelar distintos grados de resistencia al flujo. A su vez es fácil introducir reglas adicionales para representar fuentes de precipitación, evaporación e infiltración. Con este autómata se modeló con éxito las inundaciones de 2002 en el departamento de Azul de la Provincia de Buenos Aires. En la Fig. 5 se compara el nivel de agua medido in situ y el simulado por el AC, en la desembocadura del arroyo Santa Catalina en el río Azul luego de una serie de precipitaciones intensas registradas en mayo de 2002. Puede verse que el autómata puede simular muy bien las crecidas registradas. Este es un ejemplo notable de la potencialidad de los AC en la simulación de problemas de transferencia de masa.

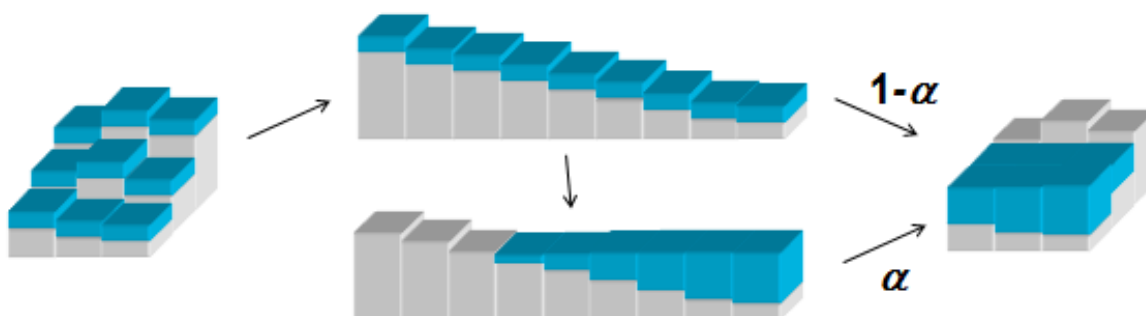


Figura 4. Regla del autómata AQUA. Las columnas grises representan la altura del terreno y las azules la altura de agua. Se calcula el nivel de agua que tendría cada celda del bloque de 3×3 si toda el agua escurriera por gravedad a su nivel mínimo. El nuevo estado es una combinación lineal del estado antes y después del escurrimiento. El parámetro α permite controlar la resistencia al escurrimiento.

Para simular transferencia de calor se han propuesto varios AC que esencialmente son reglas que en su límite de muchas celdas llevan a la ecuación de difusión. Los caminadores aleatorios son ejemplos típicos. Progresivamente se fueron desarrollando AC más complejos para simular otros procesos de transferencia térmica, como convección, radiación y ebullición. Mostraremos aquí un caso de un autómata geométrico que es capaz de simular la ebullición en pileta de pequeños calefactores (Marcel *et al* 2011). El modelo

fue desarrollado para aplicaciones en problemas de refrigeración de chips electrónicos. El calefactor se representa por una grilla de celdas bidimensionales, cuyo estado es la temperatura en cada celda. La regla de evolución de la temperatura se construye con la discretización espacial y temporal por diferencias finitas de la ecuación de conducción en dos dimensiones. En el espacio arriba del calefactor hay líquido que extrae el calor disipado en el calefactor por medio de ebullición en convección natural. Este es un proceso de transferencia de calor con cambio de fase altamente complejo, que involucra varios mecanismos físicos, como evaporación, microconvección debido al movimiento de las burbujas, jets de Marangoni, etc. Para simular este fenómeno se desarrolló un autómata geométrico formado por una población de esferas que representan burbujas de vapor. El estado de cada esfera está dado por su radio y la posición de su centro. La regla de evolución del autómata geométrico es una secuencia de tres cambios (Fig. 6): 1) el centro se desplaza una cierta distancia fija hacia arriba y una distancia pequeña en una dirección aleatoria simulando agitación; 2) si dos esferas se superponen coalescen desapareciendo y dando lugar a una nueva esfera en el centro de volumen de ambas conservando el volumen total, 3) cada esfera puede dividirse, con probabilidad creciente con el radio, en dos esferas con la mitad del volumen cada una. Para representar el nacimiento de burbujas en cada celda se supone que existe un sitio de nucleación. Se usan los criterios clásicos de activación de los sitios y los correspondientes modelos de transferencia de calor para las fuentes en cada celda (Van Stralen & Cole 1979). Las burbujas de las celdas se desprenden según la conocida fórmula de Fritz (1935).

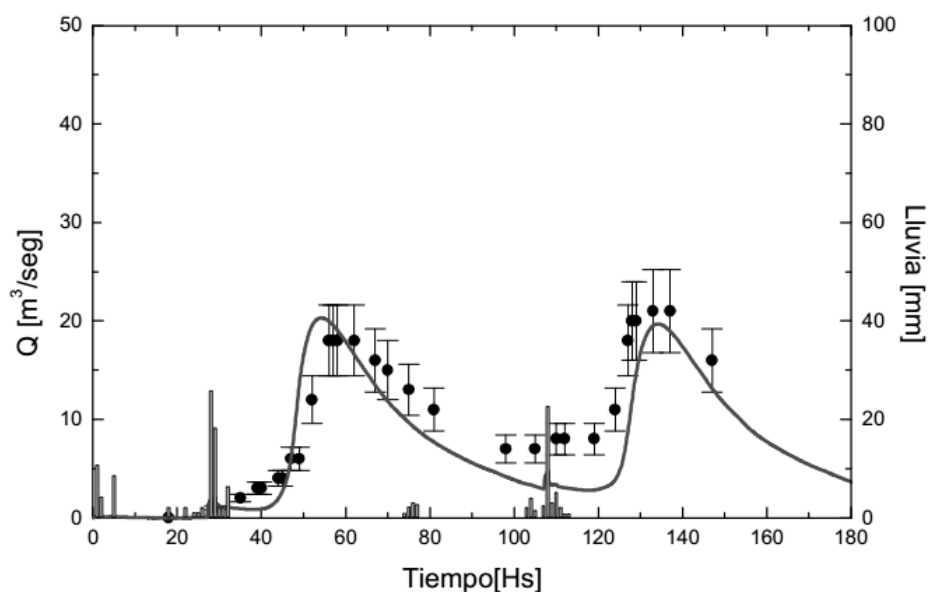


Figura 5. Nivel de agua calculado (curva) y medido (puntos) en la desembocadura del arroyo Santa Catalina en el río Azul luego de una serie de precipitaciones intensas (barras, escala derecha) registradas en mayo de 2002.

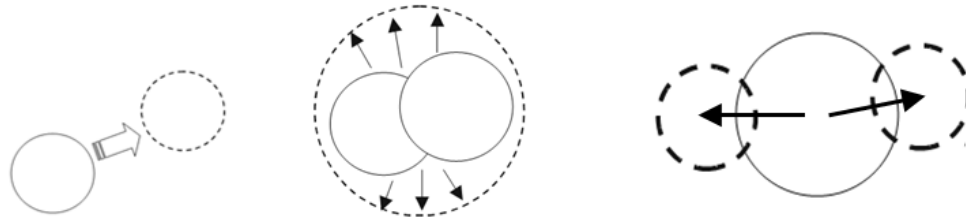


Figura 6. Reglas del autómata geométrico de ebullición.

En la Fig. 7 se muestra la evolución de la distribución de temperatura en el calefactor calculada con el autómata geométrico acoplado con el AC descrito. El calefactor es de cobre de 4×4 cm, y el refrigerante es agua a presión atmosférica. En estas condiciones, cuando el flujo de calor excede $\sim 100 \text{ W/cm}^2$, la pared calefactora se cubre con una película de vapor que neutraliza todos los mecanismos de transferencia exceptuando la radiación y la evaporación en las interfaces liquido-vapor. Este fenómeno se denomina flujo crítico de calor, y es de gran relevancia en reactores nucleares. En la figura se muestra un evento de este tipo, y se comparan los resultados numéricos con una medición experimental realizada en las mismas condiciones (Buchholz *et al* 2004), con un excelente acuerdo.

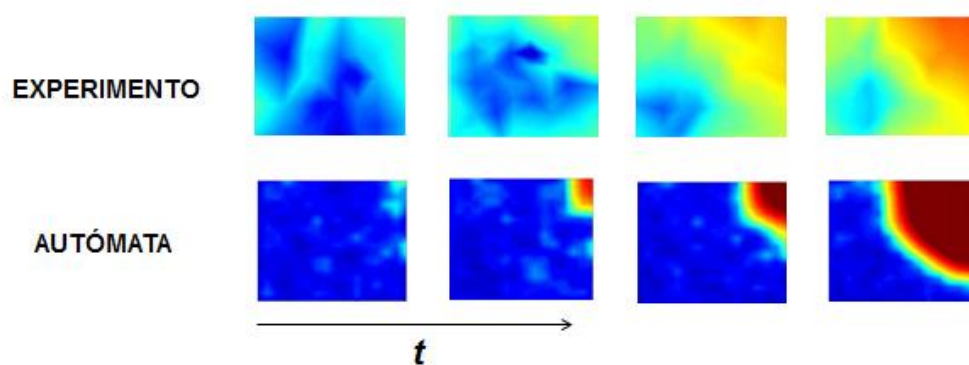


Figura 7. Evolución de la distribución de temperatura del calefactor durante un evento de flujo crítico de calor.

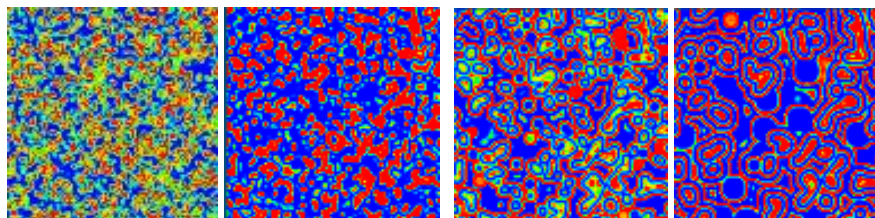


Figura 8. AC de Gladman que simula la reacción de Belousov-Zhabotinsky.

Por supuesto que también se han desarrollado modelos más sofisticados de AC en el ámbito de TCM. En el área de química, se pueden encontrar AC que simulan procesos de reacción-difusión, produciendo patrones espacio-temporales complejos como los que se observan en la realidad. Una clase interesante es la de los CA de medios excitables. Un medio excitable tiene tres estados: pasivo, activo y refractario. Una celda pasiva puede activarse dadas ciertas condiciones del vecindario. Una celda activa evoluciona hacia un estado refractario durante el cual pierde su poder de influencia sobre los vecinos y, finalmente, pasa al estado pasivo. Esta simple regla es capaz de generar ondas químicas dependiendo de la geometría de la grilla y del criterio de activación. La Fig. 8 muestra la evolución de uno de estos AC donde se ve la formación de ondas espirales de celdas activas.

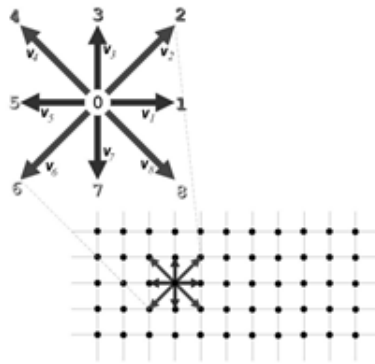


Figura 9. Conjunto de vectores desplazamiento en una red de Boltzmann bidimensional. Cada vector v_i , incluida la velocidad nula, tiene asociada una población f_i de partículas que se desplaza en esa dirección particular.

Incrementando el grado de complejidad de un AC, los más sofisticados son las redes de Boltzmann (*Lattice Boltzmann*, LB). En los modelos LB el estado de cada celda está dado por un conjunto finito de escalares que representan poblaciones de partículas moviéndose en las direcciones de la grilla (Fig. 9). La regla de evolución del autómata está dada por dos cambios: advección y colisión. En la advección las partículas avanzan a las celdas vecinas siguiendo su propia dirección. En la colisión, las poblaciones de partículas de una misma celda se mezclan entre sí llegando a un estado de equilibrio. Según la regla de colisión que se use el comportamiento de los promedios de las poblaciones en las celdas tienden a distintas ecuaciones de transporte en derivadas parciales. El LB más popular es el esquema BGK-D2Q9 que simula las ecuaciones de Navier-Stokes en dos dimensiones con nueve velocidades. La ecuación de equilibrio de BGK que determina las poblaciones g_i en una celda luego de la colisión es:

$$g_i = w_i \rho \left[1 + 3 \mathbf{v}_i \cdot \mathbf{u} + \frac{9}{2} (\mathbf{v}_i \cdot \mathbf{u})^2 - \frac{3}{2} \mathbf{u}^2 \right]$$

donde

$$\rho = \sum_{i=0}^9 f_i$$

$$\mathbf{u} = \sum_{i=0}^9 \mathbf{v}_i f_i$$

son la densidad y velocidad media de las partículas (las cuales se conservan en la colisión), f_i son las poblaciones antes de la colisión, y w_i son pesos que valen 4/9 para las partículas en reposo, 1/9 para las direcciones cartesianas y 1/36 para las diagonales.

La regla de advección del autómata BGK es entonces:

$$f_i(x + \mathbf{v}_i \Delta t, t + \Delta t) = f_i(x, t) + \frac{1}{\tau} [g_i(x, t) - f_i(x, t)] + S_i$$

El parámetro τ controla la viscosidad ν de acuerdo a:

$$\nu = \left(\frac{2\tau - 1}{6} \right) \frac{\Delta x^2}{\Delta t}$$

donde Δx es el lado de cada celda y Δt es el paso de tiempo.

El término fuente S_i permite simular flujos externos de masa $\dot{M}$ y fuerzas $\mathbf{F}$, de diferentes maneras. Un modelo de fuente usado frecuentemente es:

$$S_i = \Delta t w_i \left(\dot{M} + \frac{3}{|\mathbf{v}_i|} \mathbf{v}_i \cdot \mathbf{F} \right)$$

De esta manera, el autómata LB puede simular campos de velocidades con un esquema numérico muy flexible para manejar geometrías y fuerzas complejas. Además nótese que el esquema numérico es totalmente explícito, es decir, el estado actual es función del estado anterior en un solo paso, sin necesidad de iteraciones intermedias. Esta última propiedad hace que LB sea un candidato ideal para implementaciones en procesadores paralelos. La diferencia fundamental con un esquema explícito de diferencias finitas clásico es que el número de variables locales es más grande que el estrictamente necesario para definir el estado físico. En el caso de BGK D2Q9 se usan nueve variables poblacionales para calcular tres variables físicas: la densidad y las dos componentes de la velocidad.

Una extensión muy útil de BGK es el LB para aguas superficiales, cuya ecuación de equilibrio es:

$$g_o = h \left(1 - \frac{5gh}{6} - \frac{2u^2}{3} \right)$$

$$g_i = w_i h \left(\frac{gh}{6} + \frac{\mathbf{v}_i \cdot \mathbf{u}}{3} + \frac{|\mathbf{v}_i \cdot \mathbf{u}|^2}{2} - \frac{u^2}{6} \right), i \neq 0$$

donde g es la gravedad y $w_i = 1$ en las direcciones cartesianas y 1/4 en las diagonales. Las variables físicas son la altura de agua en la celda y la velocidad, dadas por:

$$h = \sum_{i=0}^9 f_i$$

$$\mathbf{u} = \sum_{i=0}^9 \mathbf{v}_i f_i$$

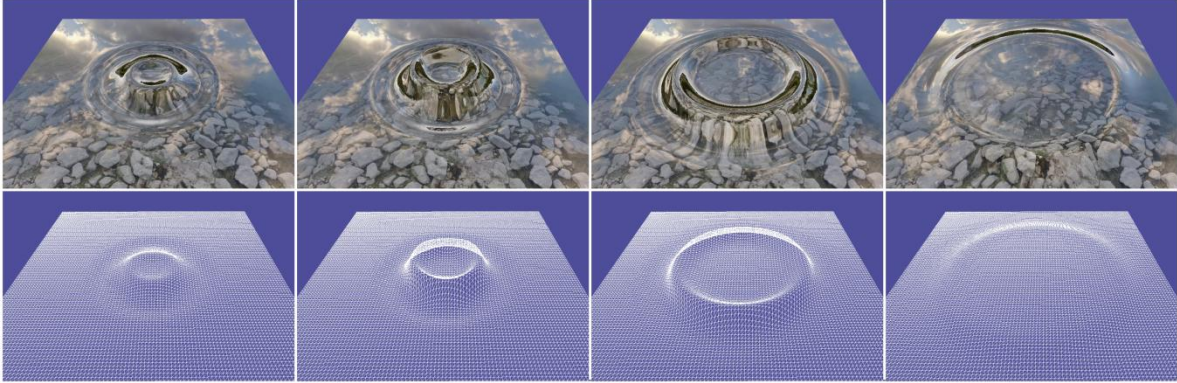


Figura 10. Simulación de la caída de una gota en un estanque mediante un autómata de Lattice Boltzmann. Arriba se aprecia la *renderización* en OpenGL y abajo la grilla.

En la Fig. 10 se muestra la visualización del movimiento de la superficie de un estanque perturbado por la caída de una gota. El cálculo fue realizado con una red de Boltzmann para aguas superficiales y el *rendering* de la solución en una máquina gráfica en OpenGL. En la Fig. 11 se muestra el campo de velocidades en un canal rectangular semiobstruido por un arreglo de alambres en el centro, simulado con un autómata LB BGK. Puede verse el AC captura la inestabilidad del flujo y el desprendimiento de vórtices al final de la obstrucción.

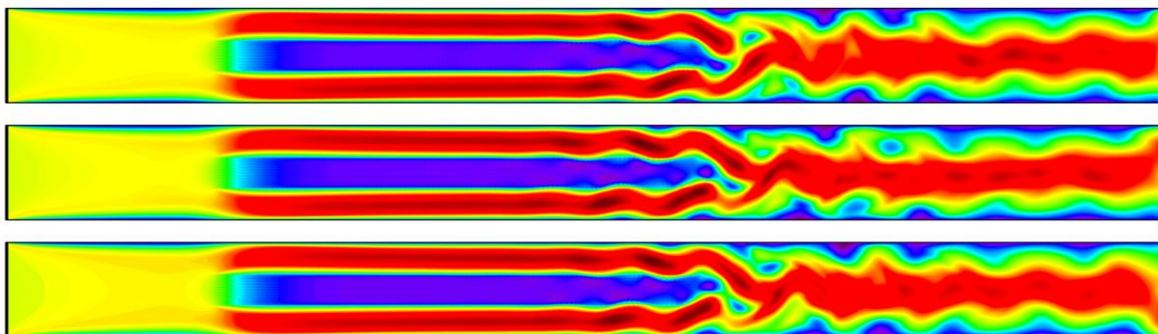


Figura 11. Simulación del flujo de gas en un canal obstruido por un medio permeable. Se muestra la componente axial de la velocidad en tres instantes distintos.

Los AC han mostrado ser herramientas muy útiles para la simulación de sistemas físicos y químicos. Además de los ejemplos descritos en esta charla, se pueden mencionar procesos con cambio de fases, flujos reactivos de varias especies, magnetohidrodinámica, entre otros. Se ofrece finalmente una bibliografía general para los lectores interesados en profundizar este apasionante tema.

Bibliografía

Adamatzky A 2001 Computing in Nonlinear Media and Automata Collectives, Institute of Physics Pub.

Buchholz M, Luttich T, Auracher H, Marquardt W 2004 Experimental investigation of local processes in pool boiling along the entire boiling curve, *Int J Heat Fluid Flow* 25 243–26.

Chopard B, Droz M 1998 Cellular Automata Modeling of Physical Systems, Cambridge University Press.

Fritz W 1935 Berechnung des Maximalvolumens von Dampfblasen. *Physics* 36 379–384.

García C, Boroni G, Vénere M, Clausse A 2010 Real-time interactive animations of liquid surfaces with lattice-Boltzmann engines, *Australian J Basic App Sci.* 4 3730-3740.

Golbert D, Blanco P, Clausse A, Feijoó R 2012 Tuning a lattice-Boltzmann model for applications in computational hemodynamics, *Medical Eng Phys* 34 339-349.

Hoekstra A, Kroc J, Slood P 2010 Simulating Complex Systems by Cellular Automata, Springer.

Kier L, Seybold P, Cheng CK 2005 Cellular Automata Modeling of Chemical Systems, Springer.

Marcel C, Bonetto F, Clausse A 2011 Simulation of boiling heat transfer in small heaters by a coupled cellular and geometrical automata, Heat and Mass Transfer 47 13–25.

Rinaldi P, Dalponte D, Vénere M, Clausse A 2007 Cellular automata algorithm for simulation of surface flows in large plains, Simulation Modelling Practice and Theory 15 315–327.

Rinaldi P, Dari E, Vénere M, Clausse A 2012 A lattice-Boltzmann solver for 3D fluid simulation on GPU, Simulation Modelling Practice Theory 25 163–171.

Schiff J 2008 Cellular Automata: A Discrete View, Willey.

Van Stralen S, Cole R 1979 Boiling phenomena 1, McGraw-Hill.

Zhou JG 2004 Lattice Boltzmann methods for shallow water flows, Springer-Verlag.

PALABRAS DE CIERRE

MAURICIO CHOCRÓN

Estimados colegas, unas palabras de cierre luego de las presentaciones.

El Ing. Ferreri presentó la historia del CAMAT y me toca mencionar cómo llegamos a la idea de recrear una entidad similar en el presente.

Desde hace por lo menos dos años atrás comenzamos a pensar con la Ing. Conti la idea de que, considerando los temas en que trabajamos, los muchos vínculos con proyectos, colegas y lugares del país en que se desarrollan, sería necesario un ámbito, más bien informal y de rápida organización, en el cual se puedan hacer jornadas como la presente pero ya orientadas a temas específicos y donde tanto jóvenes como investigadores de trayectoria presenten sus avances y se puedan discutir y planear nuevas aplicaciones y adquirir conocimientos.

Recordando el CAMAT, la relevancia de sus participantes y lo beneficioso de las reuniones que se organizaban (y mi reconocimiento personal a algunos de sus destacados miembros a los que les debo parte de mi carrera e inspiración), debido a mi conocimiento con el Ing. Ferreri, le propuse la idea, a la cual muy calurosamente adhirió y así venimos trabajando en ella desde Octubre de 2013, llegando a la presente reunión.

Agradecemos en primer lugar a la ANCBA y a su Presidente, al IECyT-AA y al Dr. Gratton que nos brindan el marco y a su personal administrativo, al Dr. Clausse que accedió a ofrecer una conferencia central, a los investigadores que accedieron a formar parte de un comité (aun no oficialmente constituido: Dres. Clausse, Laborde y Mascheroni), a la Ing. Conti, que realiza su función de secretaria técnica con su habitual capacidad y eficacia, a la Sra. Edith Luna, que nos asesoró en el diseño de los folletos (y los preparó) y comunicaciones, y a todos los asistentes que adhirieron a la idea, tanto los que están aquí como los que gentilmente nos contestaron y ofrecieron colaboración, aun desde lejos.

Pronto nos comunicaremos, para convocar a propuestas sobre nuevas reuniones y temas. Los invitamos, a aquellos que no lo han hecho a dejarnos su mail.

Gracias nuevamente a todos.

GALERÍA DE IMÁGENES DEL EVENTO



27 DE AGOSTO DE 2014

PRIMER SEMINARIO DE ECAMAT

Instituto de Estudios de
Ciencia y Tecnología - "Amílcar Argüelles"



ACADEMIA NACIONAL DE CIENCIAS DE BUENOS AIRES
Av. Alvear 1711 - 3er. Piso - C.A. de Buenos Aires

CONCEPTOS, ENFOQUES Y TÉCNICAS en los ESTUDIOS de TRANSFERENCIA de CALOR y MATERIA

EXPOSICIONES

14:45 a 15:10 - Ing. Juan Carlos FERRERI: "CAMAT: historia, legado y herederos"
15:15 a 16:15 - Dr. Mauricio CHOCHRÓN: "TM en procesos de tecnología nuclear"
16:15 a 16:40 - Coffee break
16:45 a 17:45 - Dr. Alejandro CLAUSSE: "Autómatas celulares para TCyM"
17:45 a 18:00 - Cierre del Seminario - Dr. Mauricio CHOCHRÓN

INFORMES E INSCRIPCIONES
Ing. María Cecilia Conti - ecamat@ciencias.org.ar



ACADEMIA NACIONAL DE CIENCIAS DE BUENOS AIRES
Av. Alvear 1711 - 3er. Piso | 1014 C.A. Buenos Aires | Tel.: (011) 4811 - 3066





Mesa Directiva

2013-2015

Presidente

Dr. Marcelo Urbano Salerno

Vicepresidente 1º

Dr. Fausto T. Gratton

Vicepresidente 2º

Ing. Luis A. de Vedia

Secretario

Ing. Juan Carlos Ferreri

Prosecretario

Dr. Alberto C. Riccardi

Tesorero

Dr. Mario J. Solari

Protesorero

Dr. Federico M. Pégola