

PROTEINAS DEL PETROLEO

— **Dr. Marvin J. Johnson**  
Universidad de Wisconsin  
U.S.A.

Quisiera comenzar señalando un avance muy importante que ha ocurrido durante los últimos 25 años, un avance que podría denominarse "la domesticación de los microorganismos".

En la figura N° 1 se presenta un resumen de las actividades biológicas sobre la superficie de la tierra. La conversión del dióxido de carbono a carbono orgánico, realizada enteramente por las plantas verdes, es compensada por la oxidación del carbono orgánico o dióxido de carbono llevada a cabo por los animales y microorganismos. En la Fig. 1, se hace notar que el 90 por ciento de la oxidación del carbono orgánico la efectúan los microorganismos.

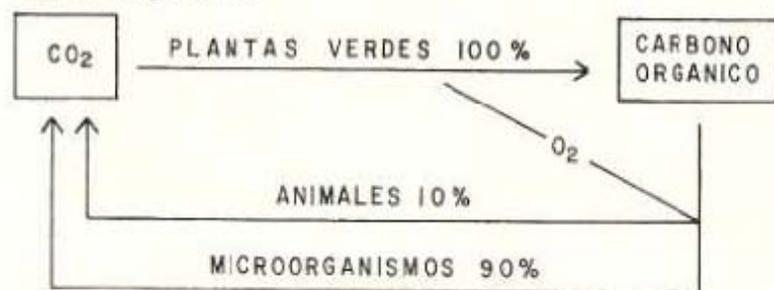


Fig. 1.— Actividades biológicas sobre la superficie de la tierra.

Antes de la invención de la agricultura, esta cifra era del orden de un 95 por ciento. En mi tierra natal, Wisconsin, uno de los estados de mayor producción lechera de Estados Unidos, algo así como es el estado Zulia para Venezuela, por cada kilogramo de seres humanos hay 10 kilogramos de vacas y 100 kilogramos de microorganismos.

El hombre primitivo comía plantas y animales silvestres; pero, hace unos 10.000 años, comenzó a domesticar las plantas

y los animales. Cultivó plantas verdes para usarlas como alimentos y crió animales, alimentándolos con plantas silvestres o domesticadas, utilizando los animales como alimentos. El no sabía que los microorganismos existían. Estos eran demasiado pequeños para ser detectados por el ojo humano. El ignoró al 90 por ciento de los organismos responsables de la oxidación del carbono orgánico, pero hizo uso del 10 por ciento restante como fuente de alimento, vestido y energía mecánica. Ha sido durante los últimos 25 años que esta gran fracción de los agentes oxidantes, los microorganismos, ha sido domesticada inteligentemente. Hoy en día, nosotros usamos los microorganismos principalmente como fuente de compuestos químicos, tales como los antibióticos, vitaminas, aminoácidos, ácidos orgánicos y alcohol. Sólo muy recientemente han comenzado a ser utilizados los microorganismos como una fuente de alimento para animales. Pero todavía no los utilizamos para producir alimentos para seres humanos. Sin embargo, las cosas están cambiando.

Quisiera hablar de algunos de los recientes avances en el uso de los microorganismos para alimentación animal y de su posible uso en alimentación humana. Como base de la discusión, dos puntos son importantes. El primero es que debido a los pocos años que hace que sabemos cultivar microorganismos eficientemente en gran escala, la raza humana, obviamente, no ha explotado los microorganismos en la extensión que lo ha hecho con las plantas y los animales. El segundo es que, a medida que aumente la población del mundo, se necesitarán y llegarán a ser económicamente factibles innovaciones en nuestros métodos de producción de alimentos.

¿Son los microorganismos una fuente adecuada de proteína para los mamíferos? Revisemos rápidamente la composición general de las células microbianas y comparémosla con la de otras fuentes proteicas. En la Tabla N° 1, se presentan algunos datos promediados. Analicemos primeramente, la composición de la carne, que ha sido siempre la fuente de proteína preferida por el hombre, y de la soya, la fuente de proteína vegetal de alta calidad de mayor uso en el mundo. Se puede observar que la carne contiene el doble de nitrógeno y el doble de aminoácidos esenciales que la harina de soya. También se puede ver que las bacterias y levaduras contienen un porcentaje tan alto de aminoácidos esenciales como la harina de soya.

TABLA N° 1. COMPOSICION DE ALGUNAS FUENTES DE PROTEINA

	% N	% AMINOACIDOS ESENCIALES *	RELACION AMINOACIDOS/N
BACTERIA	11	26	2,4
LEVADURA	8	28	3,5
HONGOS	6	11	1,8
HARINA DE SOYA	8	22	2,8
CARNE	15	48	3,2

\* Histidina, arginina, lisina, leucina, isoleucina, valina, metionina, treonina, fenilalanina.

Las bacterias contienen más nitrógeno que las levaduras, pero su contenido en aminoácidos no es mayor. Esto se debe al contenido relativamente alto de ácidos nucleicos de las bacterias. Se puede notar que los hongos tienen un contenido de aminoácidos esenciales relativamente bajo. Ellos son también difíciles de cultivar en gran escala, debido a que forman suspensiones espesas de micelio, las cuales son difíciles de airear eficientemente. Por esta razón, los hongos no son considerados como una fuente promisoría de proteína. Más adelante discutiremos los méritos relativos de levaduras y bacterias.

Las células microbianas pueden llegar a ser una fuente práctica de proteína únicamente si pueden ser producidas con buenos rendimientos utilizando sustratos baratos y abundantes. Desde luego, el sustrato para el que existe mayor cantidad de datos es la glucosa. En la Tabla No. 2, se muestran los rendimientos de células (en base seca) que se pueden obtener cultivando varios microorganismos en un medio de glucosa y sales minerales.

Los datos fueron obtenidos en nuestro laboratorio por el profesor Eovaldo Hernández de la Universidad del Zulia. Ellos concuerdan con los rendimientos obtenidos en otros laboratorios cuando se utilizan buenas condiciones de crecimiento.

Vemos que la levadura *Cándida* y las bacterias del grupo colon-aerógenos producen unos 0,5 gramos de células secas por cada gramo de glucosa utilizado. Deberá notarse que el rendimiento para *Pseudomonas* es más bajo. Las *pseudomonas*, sin

**TABLA N° 2. RENDIMIENTOS AEROBICOS DE ALGUNOS MICROORGANISMOS CON REFERENCIA A LA GLUCOSA.**

ORGANISMO	RENDIMIENTO EN PESO *
<i>CANDIDA UTILIS</i>	0,51
<i>ESCHERICHIA COLI</i>	0,505
<i>AEROBACTER CLOACAL</i>	0,51
<i>PSEUDOMONAS FLUORESCENS</i>	0,382

\* Gramos de células por gramo de glucosa usado.

embargo, crecen en una mayor variedad de sustratos que los miembros del grupo colon-aerógenos.

En la Tabla N° 3, se presentan algunos datos de rendimientos de células de *Cándida* y *Pseudomonas* creciendo en varios sustratos. Puede observarse que *Cándida* da rendimientos más altos en alcohol que en glucosa. Esto es de esperar, ya que el etanol tiene un mayor contenido de carbono y un valor calórico más alto que la glucosa. Los alcanos normales dan un rendimiento más alto que el etanol, por la misma razón. Obsérvese, sin embargo, que el rendimiento celular con referencia al oxígeno utilizado es bajo. El rendimiento con respecto al oxígeno es significativo por dos razones. Primeramente, y de un modo

**TABLA N° 3. RENDIMIENTOS DE CANDIDA Y DE PSEUDOMONAS EN VARIOS SUSTRATOS.**

ORGANISMO	SUSTRATO	gr. de células por gr. de sustratos	gr. de células por gr. de O <sub>2</sub> usado
CANDIDA	Azúcares	0,5	1,25
	Etanol	0,68	0,58
	Alcanos	0,85	0,37
PSEUDOMONAS	Azúcares	0,38	0,71
	Etanol	0,54	0,41
	Alcanos	1,0	0,40
	Metano	0,65	0,21
	Hidrógeno	Ca. 2,0	Ca. 0,4

aproximado, la cantidad de energía disponible para la célula es proporcional al oxígeno utilizado. En segundo lugar, el costo del proceso fermentativo de producción de células microbianas es aproximadamente proporcional a la cantidad de oxígeno usado.

En la Tabla N° 3, se puede ver que las bacterias dan rendimientos en azúcar inferiores a *Candida*, pero rendimientos superiores en alcanos normales. Esto es así no solo con pseudomonas, sino también con otras bacterias que usan alcanos. No tenemos una explicación para este hecho. Lo que podemos concluir es que los microorganismos, cultivados en hidrocarburos alifáticos normales, producirán entre 0,85 y 1,0 gramo de células secas por gramo de hidrocarburo utilizado.

Como comparación se incluyen en la Tabla N° 3 los rendimientos de hidrogenomonas. El rendimiento está referido a la fuente de energía, hidrógeno, en lugar de la fuente de carbono, dióxido de carbono. El rendimiento de un autotrofo que use dióxido de carbono es, desde luego, fijo: un mol de carbono celular por mol de dióxido de carbono utilizado. Lo que es interesante en este caso es que el rendimiento con referencia al oxígeno consumido es similar al obtenido con alcohol o alcanos.

Cuando el sustrato es metano, el rendimiento de células es bajo y el rendimiento con respecto al oxígeno usado es muy bajo. Hay una interesante razón para este hecho. La oxidación biológica de un grupo metilo, por animales, plantas o microorganismos, requiere una oxigenasa, la cual cataliza la reducción de una molécula de oxígeno atmosférico por cada grupo metilo reducido. La reducción de esta molécula de  $O_2$  no va acompañada de la formación de ATP, de modo que se pierde alguna energía. Cuando se utiliza un alcano de alto peso molecular, la cantidad de  $O_2$  desperdiciada es una pequeña fracción del  $O_2$  total, pero cuando se usa metano, el  $O_2$  malgastado constituye un porcentaje grande del total. En la Tabla N° 4, basada en los mismos datos de la Tabla N° 3, se muestran algunas relaciones interesantes.

La primera columna de datos es la misma de la Tabla N° 3. La segunda columna indica los gramos de células producidos por gramos de carbono del sustrato. Puede observarse que el rendimiento en base al carbono es más elevado para etanol y hexadecano y más bajo para glucosa y metano. La tercera columna es

**TABLA N° 4. RENDIMIENTOS DE PSEUDOMONAS CRECIENDO EN VARIOS SUSTRATOS.**

SUSTRATO	SUSTRATO	CARBONO DEL SUSTRATO	O <sub>2</sub> TOTAL	O <sub>2</sub> UTIL
GLUCOSA	0,38	0,95	0,71	0,71
ETANOL	0,54	1,03	0,41	0,41
HEXADECANO	1,0	1,18	0,49	0,53
METANO	0,65	0,87	0,21	0,57

la misma de la Tabla 3, pero el rendimiento en oxígeno, en la cuarta columna, ha sido corregido para el oxígeno "malgastado" en la reacción de la oxigenasa. El rendimiento en oxígeno así obtenido, utilizando metano, es más cercano al de los otros sustratos que cuando esta corrección no se hace.

Después de haber visto los rendimientos que se obtienen con microorganismos, es interesante comparar estos rendimientos con los obtenidos con los organismos denominados superiores. En la Tabla N° 5, se presentan algunos datos sobre rendimientos (en base a peso seco), velocidades de crecimiento y costo de sustrato para mamíferos y microorganismos. Los datos de costo para alimentos humanos se refieren a una ración eficiente, tal como las usadas en alimentación animal, no a las raciones innecesariamente costosas comúnmente consumidas por los seres humanos. Los datos de la Tabla N° 5, ilustran las ventajas inherentes de los microorganismos sobre los mamíferos en lo que a conversión de alimentos se refiere.

**TABLA N° 5. RENDIMIENTOS, VELOCIDADES DE CRECIMIENTO Y COSTO DE SUSTRATO PARA MAMIFEROS Y MICROORGANISMOS.**

ORGANISMO	RENDIMIENTO (kg. peso seco por kg. alimento).	TIEMPO PARA DUPLICAR EL PESO	COSTO DE ALIMENTO (Bs./Kg. de producto)
Infante Humano	0,02	50 días	20,0
Cerdos, Pollos	0,12	10 días	3,2
Microorganismos	0,4 1,0	0,5-5 días horas	0,2-1

Aunque las levaduras y bacterias pueden cultivarse con rendimientos altos en varios sustratos, la cuestión práctica es una de naturaleza económica: ¿Se pueden producir células microbianas de un modo lo bastante barato como para que compitan con otras fuentes de proteínas? ¿Cuáles son los sustratos disponibles en cantidades suficientes? ¿Qué significa "cantidad suficiente"? Estamos considerando a las células microbianas como una fuente de proteínas para los animales domésticos, principalmente para los no-rumiantes. La proteína requerida en escala mundial para este propósito es una cantidad muy superior a la requerida para la nutrición humana. Sin embargo, es conveniente que fijemos nuestra atención a la producción mundial de proteínas en relación con los requerimientos humanos. En la Tabla N° 6, se hacen algunas comparaciones interesantes. La necesidad anual mundial de proteínas para consumo humano es de unos 62 millones de toneladas métricas. La cantidad de proteínas producidas por las plantas de mayor cultivo sobre la Tierra se presenta también en la Tabla N° 6.

**TABLA N° 6. PRODUCCION MUNDIAL DE PROTEINAS (TONELADAS METRICAS x 10<sup>-6</sup>), 1967. Requerimiento Humano Mundial de Proteína = 62).**

FUENTE	PROTEINA PRODUCIDA	PROTEINA POTENCIAL ADICIONAL*
TRIGO	39	
MAIZ	24	
ARROZ	22	
SOYA	16	
CARNE	15	
PESCADO	10	
AZUCAR	—	17
PETROLEO	—	765

\* Obtenible por conversión microbiana de carbohidratos o hidrocarburos.

La producción de proteína está muy por arriba de las necesidades mundiales. Sin embargo, hay que tener en cuenta que una gran cantidad de esta proteína es consumida por animales y que la cantidad usada por el hombre es muy grande en algu-

nos países y muy pequeña en otros. Para que una nueva fuente de proteínas contribuya apreciablemente a la actual provisión mundial, su producción debería alcanzar a unos 5 a 10 millones de toneladas, por lo menos. La segunda columna de la Tabla N° 6 muestra la cantidad de proteínas que podría obtenerse, si toda la producción mundial de azúcar o toda la producción mundial de petróleo fuera usada para producir proteína microbiana. Puede observarse que un 2 por ciento del petróleo produciría tanta proteína como la que se obtiene actualmente en la producción mundial de carne y casi tanta proteína como la que daría la cosecha mundial de azúcar. Es decir, el único sustrato para el cultivo de microorganismos que abunda en cantidades suficientes para la producción de grandes cantidades de proteínas, sin ocasionar muchos cambios en la agricultura del mundo, es el petróleo.

Frecuentemente se ha sugerido el uso de materiales residuales (melazas, suero de leche, mazorcas de maíz, etc.), para producir proteínas; pero, la cantidad de tales materiales es demasiado pequeña.

En lo que a Venezuela se refiere, un 1 por ciento de su petróleo podría producir una cantidad de proteínas cuatro veces mayor que los requerimientos proteicos totales de su población.

*TABLA N° 7. VENEZUELA: PRODUCCION DE PROTEINA EN 1967, EN KILOTONELADAS. (Requerimiento Humano = 170 Kilotoneladas).*

FUENTE	PRODUCCION DE PROTEINA	
	ACTUAL	POTENCIAL
MAIZ	54	
ARROZ	23	
CARNE	45	
PESCADO	17	
1% DEL PETROLEO	—	740

Los métodos de producción de células microbianas en gran escala a partir de hidrocarburos son bien conocidos. Las dificultades son de naturaleza económica. Antes de discutir los cos-

tos consideremos brevemente la clase de proceso a utilizar. Primeramente, hay que decidir entre el uso de levaduras o bacterias. En la Tabla N° 8, se resumen los factores implicados. Actualmente, la mayor parte del trabajo se realiza con levaduras, a pesar de que esto reduce la variedad de los sustratos a elegir; la razón es que hay más datos sobre las propiedades nutricionales de las células de levadura. Podría suceder que cuando se tenga más información las bacterias resulten preferibles a las levaduras.

Existen dos fuentes de alcanos normales para el cultivo de levaduras; una es la fracción gas-oil del petróleo, que contiene, digamos un 10 por ciento de alcanos normales; la otra es una mezcla de alcanos normales separados mediante formación de aductos de urea, por ejemplo. El medio de cultivo utilizado es simple. Consiste de agua, hidrocarburo y sales inorgánicas, con el ion amonio como fuente de nitrógeno.

**TABLA N° 8. COMPARACION ENTRE LEVADURAS Y BACTERIAS COMO PRODUCTOS DE LA FERMENTACION DE HIDROCARBUROS.**

FACTOR	LEVADURAS	BACTERIAS
Sustrato	Alcanos Normales	Alcanos Normales Alcanos Ramificados Metano Aromáticos
Costo de Producción	El Sustrato puede costar más	La cosecha puede costar más
Valor Nutritivo	Muy bueno. Hay mucha Experiencia sobre su cultivo y uso	Muchas, muy buenas, algunas tóxicas, existe poca experiencia.

Un fermentador aeróbico (fig. 2) es esencialmente un recipiente que contiene un medio de cultivo líquido y provisto con un dispositivo que mezcle intimamente el aire que fluye continuamente, con el líquido. La mezcla debe ser tal que el oxígeno

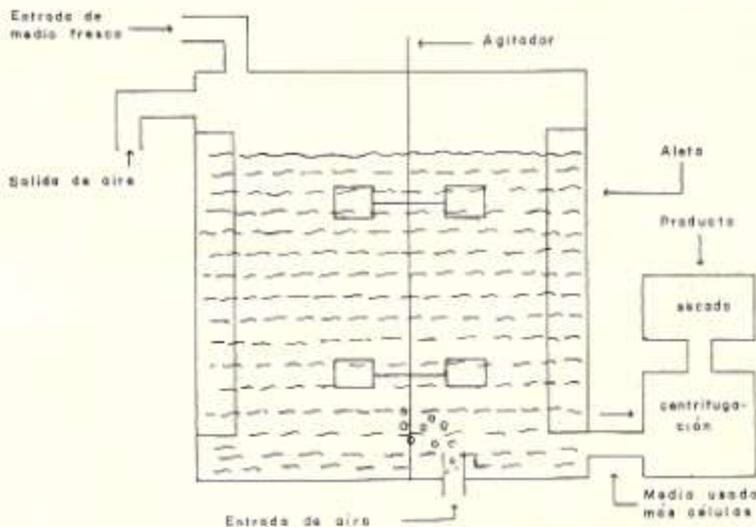


Fig. 2.— Esquema de un fermentador para la producción de células a partir de hidrocarburos.

del aire se disuelva en el medio a una velocidad máxima. La velocidad de producción de células en un fermentador es directamente proporcional a la velocidad a la cual es capaz de transferir oxígeno. Al discutir la Tabla 3, mencioné la importancia del rendimiento celular en oxígeno y señalé que este rendimiento era inferior para los hidrocarburos que para los carbohidratos. Las cantidades de oxígeno consumidas al cultivar células de hidrocarburos son grandes, por lo que se debe prestar gran atención a la eficiencia de transferencia de oxígeno. El fermentador es de operación continua. Medio fresco e hidrocarburo fresco son añadidos continuamente, pero el contenido en hidrocarburo en el estado de equilibrio es muy bajo. La suspensión de células es removida continuamente del fermentador, centrifugada, lavada y secada. Cuando se utilizan alcanos purificados puede ser ventajoso instalar un segundo fermentador entre el primer fermentador y la centrifuga, de modo que el tiempo de residencia de la suspensión de células en el segundo fermentador sea lo bastante largo como para que éstas remuevan del medio las últimas trazas del sustrato utilizado. Cuando el sustrato es gas-oil, la fracción no-utilizada del mismo sale mezclada con la suspensión de células y se deben usar técnicas especiales para

separar las células del hidrocarburo no utilizado y del medio acuoso gastado. Con cualquier sustrato, el fermentador debe estar provisto de un dispositivo de enfriamiento y de otros aditamentos que no se muestran en la Figura 2.

La asepsia no es absolutamente esencial, ya que se pueden elegir las condiciones de modo que los organismos contaminantes crezcan más lentamente que la levadura que se esté usando y sean lavados del fermentador continuo. Sin embargo, la asepsia podría ser deseable.

Es obvio que el costo del hidrocarburo usado puede ser una parte mínima del costo de la producción de células. Es difícil estimar el costo total de la producción de células en escala industrial a partir de hidrocarburos si se carece de datos sobre la operación en gran escala. Es posible, sin embargo, en base al costo de la producción de células con otros sustratos llegar a una cifra aproximada. En la Tabla N° 9 se presentan algunas estimaciones aproximadas. El costo de producción cuando se usan azúcares depende de la fuente de carbohidratos.

**TABLA N° 9. COSTOS ESTIMADOS DE LA PRODUCCION DE CELULAS**

<b>COSTO EN Bs. POR KG. DE CELULAS</b>				
<b>SUSTRATO</b>	<b>SUSTRATO</b>	<b>PROCESO DE</b>	<b>OTROS</b>	<b>TOTAL</b>
		<b>CRECIMIENTO</b>	<b>COSTOS</b>	
AZUCARES	0,1	0,20	0,50	0,70-1,70
ALCANOS	0,40	0,30	0,50	1,20
METANO	0,05	0,60 (?)	0,50	1,15
HIDROGENO	0,20	0,60(?)	0,50	1,30

Si este es un material de desecho (licor de sulfitos, por ejemplo) el costo de las células puede llegar a ser tan bajo como 0,70 bolívares por kilogramo. Para los alcanos normales, el costo de la producción de células es probablemente de unos 1,20 bolívares por kilogramo. Si se usa metano, el costo del sustrato es muy bajo, pero el costo de la fermentación es alto debido al uso de un sustrato gaseoso. Aunque en la Tabla N° 9 se dan los costos para la fermentación con metano, las cifras pueden ser erróneas, ya que nunca se han cultivado células en metano en

escala industrial. Los datos sobre las bacterias del hidrógeno se incluyen únicamente como comparación; el estimado de costos no incluye el precio del dióxido de carbono.

Las cifras de costos, con todo lo aproximadas que son, indican que las células microbianas no pueden actualmente competir con otras fuentes de proteína de calidad en la alimentación animal. En la Tabla N° 1 vimos que la harina de soya era aproximadamente equivalente, en su contenido en aminoácidos esenciales, a las células microbianas. En los países donde se produce, la harina de soya se vende aproximadamente a la mitad del costo de las células microbianas. En los países que carecen de harina de soya, o de alguna otra fuente de proteína de alta calidad, o éstas están disponibles a bajo costo en cantidades grandes, la proteína microbiana puede competir. Este es el caso de Rusia, donde existe actualmente una gran producción en escala industrial de levadura a partir de hidrocarburos. A medida que aumenta la población del mundo y se hacen más escasas las proteínas para la alimentación animal, es probable que se produzca proteína microbiana del petróleo en gran escala.

A pesar de las cifras aparentemente desfavorables de los costos de producción, hay actualmente un gran interés en la producción de proteínas a partir del petróleo. En la Tabla N° 10 se indican algunas plantas actualmente funcionando, en construcción o planeadas. ¿Por qué se están construyendo plantas en escala comercial? No lo sé, pero una suposición adecuada podría ser la siguiente:

En los países desarrollados hay un gran mercado para los alimentos de animales. Tales alimentos pueden contener una cierta cantidad (hasta un 3 por ciento, dependiendo del precio) de levadura como fuente de vitamina B. Si tanto el valor de la vitamina, como el valor proteico de la levadura se toman en consideración, su precio de venta puede ser más alto, del orden de Bs. 1,00 por kilogramo. De este modo, una modesta producción de células de levaduras puede venderse a un precio relativamente alto. El productor de células puede recobrar sus costos y al mismo tiempo puede obtener experiencia valiosa sobre la producción en escala comercial. El puede luego, decidir si los costos pueden bajarse hasta un punto donde la producción de levadura como una fuente de proteína sea económicamente favorable.

En resumen, podemos decir que la producción de proteínas a partir de hidrocarburos es factible, pero que su introducción en gran escala depende de la evaluación de los costos de producción actuales y futuros

**TABLA N° 10. PRODUCCION DE LEVADURAS A PARTIR DE PETROLEO EN ALGUNAS PLANTAS INDIVIDUALES.**

PAIS	SUSTRATO	TONS. LEVADURA POR AÑO	FECHA
Inglaterra	Alcanos normales	4.400	1970
Francia	Gas-oil	17.600	1970
U.R.S.S.	Alcanos y Gas-oil	ESCALA INDUSTRIAL	1967
Japón	Alcanos normales	60.000	1970
Japón	?	40.000	1972-73

Traducción al castellano:  
Dr. Eovaldo Hernández.