

# FORMACION Y DINAMICA DE GALAXIAS

Diego Garcia Lambas  
Observatorio Astronomico de Cordoba  
Programa IATE-CONICET, CONICOR

## ABSTRACT

This paper briefly reviews some models for galaxy formation and their confrontation with observations. The analysis include the cosmological background, the clustering of mass in galactic halos, and several dynamical and photometric properties.

## EL CONTEXTO COSMOLOGICO

Entender la formacion de las galaxias exige la comprension de diversos fenomenos astrofisicos insertos en un contexto cosmologico definido. Los procesos de formacion de las galaxias estan condicionados por la cosmologia debido a que la dinamica de sistemas en expansion juega un rol preponderante en el ensamblado de unidades subgalacticas, y ademas, las condiciones del medio para la formacion estelar estan determinadas por los parametros del modelo cosmologico. El modelo del Big Bang es actualmente el modelo estandard cosmologico soportado por la ley de Hubble (1936), la radiacion de fondo y sus propiedades (1965-1991), y la teoria de nucleosintesis primordial (1940-1992). Con el grafico de la figura 1 podemos fijar tiempos de particular interes en la evolucion de este modelo tales como la bariogenesis y los tiempos de igualdad y desacople de la materia y radiacion esenciales en el origen de la estructura en el Universo.

## LA MATERIA OSCURA.

Cuales son las partículas constituyentes del Universo que se ensamblaron constituyendo las galaxias?. Tan pronto como fue posible estudiar la dinamica de cumulos de galaxias se aprecio la existencia de una gran cantidad de materia no visible en los mismos.

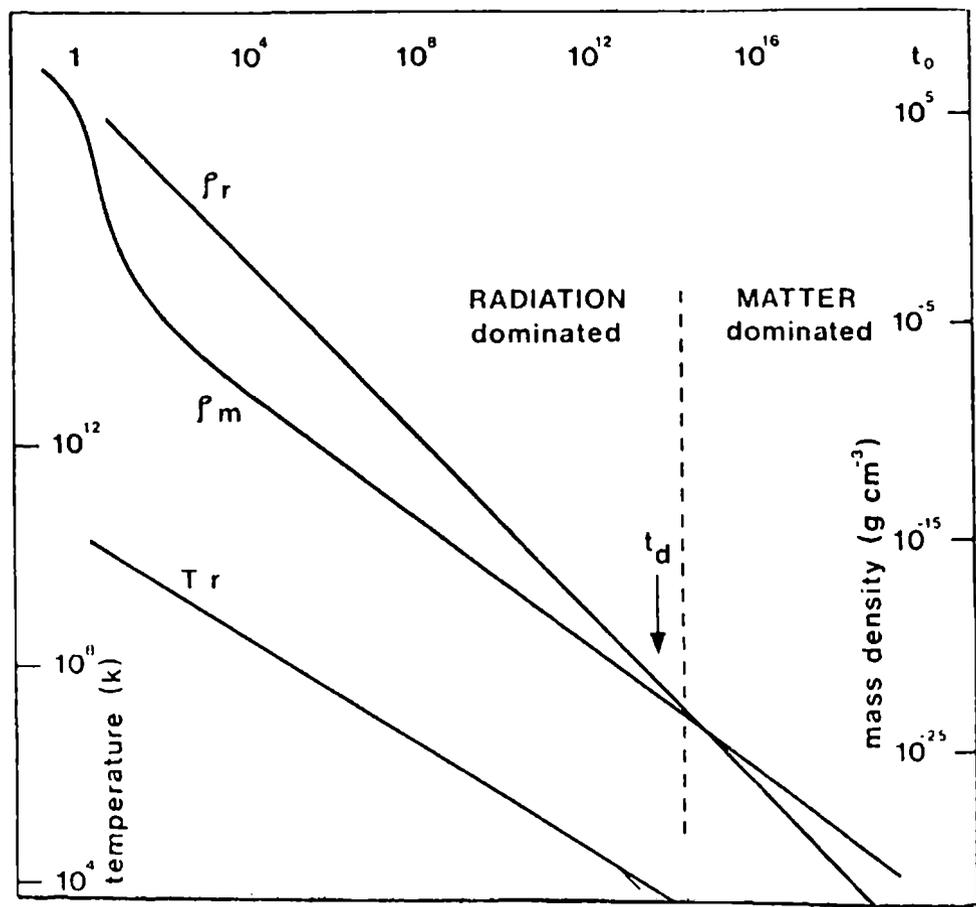


Figura 1. Evolucion en el modelo estandar, extraido de J.L Sersic, 1980

Las curvas de rotacion de las galaxias en HI revelaron que las galaxias estan inmersas en un pozo de potencial de tipo isoterma,  $\rho(r) \simeq r^{-2}$  constituidos mayormente por material no luminoso. En la figura 2 mostramos algunas curvas de rotacion  $V_c(r)$  tipicas en galaxias espirales. La planitud de las mismas en escalas grandes muestra la presencia de la materia oscura dado que en equilibrio rotacional  $V_c(r) = [GM_{<r}/r]$  donde  $M_{<r}$  es la masa total incluida a distancia  $r$  del centro si tenemos cuenta que mas alla de 10 kpc el brillo de las galaxias es despreciable.

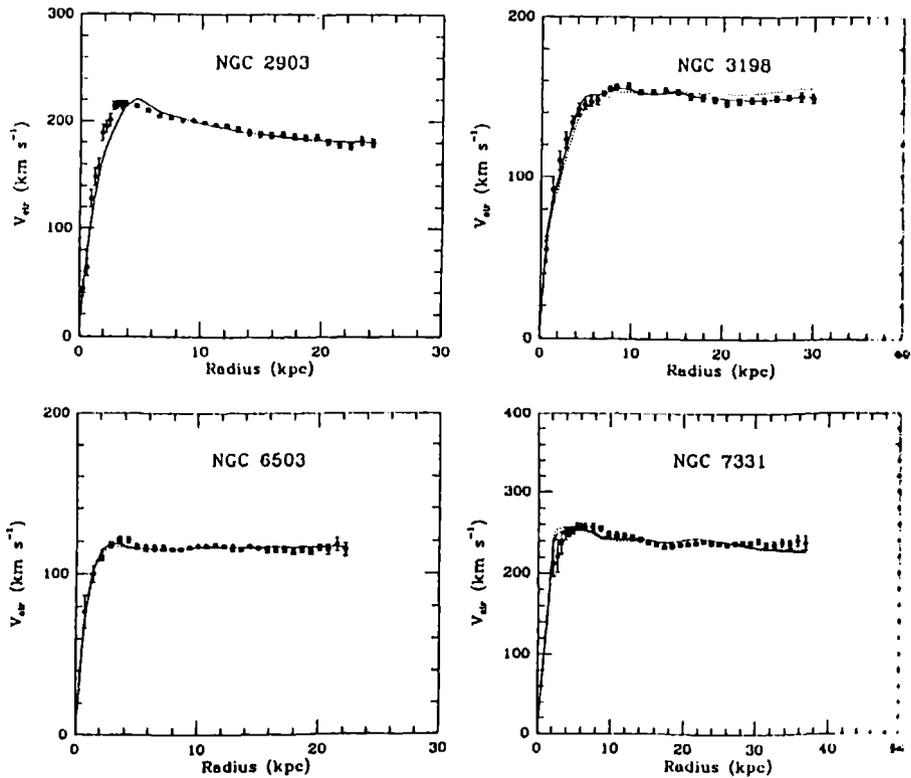


Figura 2. Curvas de rotacion tipicas de galaxias espirales

Estudios de la dinamica de las galaxias y su distribucion espacial permite estimar el parametro de densidad mediante la teoria lineal teniendo en cuenta que  $V_{pec} \simeq \Omega^{0.6} \delta\rho/\rho$ . Los valores encontrados por metodos dinamicos y otras estimas tales como la utilizacion de recuentos de fuentes para la determinacion de la variacion del elemento de volumen con el redshift rondan  $\Omega \simeq 0.2 - 1$ . La masa asociada a las regiones luminosas de las galaxias implican solamente  $\Omega \simeq 0.03$  implicando que las estrellas no contribuyen sensiblemente a la masa total del Universo tal como uno esperaria basandonos en el sistema solar. Por otra parte la teoria de nucleosintesis exige que la densidad media del Universo en forma de bariones y la constante de Hubble  $H = 100h km/s/Mpc$  satisfagan  $0.003 \leq \Omega h^{-2} \leq 0.05$  para poder compatibilizar la teoria con las abundancias observadas de elementos. Debemos concluir entonces que la dinamica del Universo debe encontrarse dominado por particulas que no intervienen activamente en la formacion de los atomos. Las galaxias y su historia dinamica estan asi determinadas, al menos en tiempos primitivos, por la evolucion de esa componente dominante.

## FLUCTUACIONES PRIMORDIALES

En el marco teorico, el comportamiento dinamico de las fluctuaciones en densidad esta determinado por la magnitud de la dispersion de velocidades  $v$  relativa al substratum en el tiempo  $t$  para el cual la densidad de materia  $\rho_m$  iguala a la densidad de radiacion  $\rho_r$ . A partir de  $t_{eq}$ ,  $\rho_r < \rho_m$  y las fluctuaciones en densidad  $\delta\rho/\rho$  puedan crecer por inestabilidad gravitacional generando la estructura en el Universo. De esta manera se distinguen dos comportamientos extremos: materia fria (Cold dark matter, CDM,  $v \ll c$ ) o materia caliente (Hot dark matter, HDM,  $v \simeq c$ ) En el modelo HDM la particula natural es el neutrino masivo con masa  $mv \simeq 30ev$  y donde las galaxias se originan mediante procesos de fragmentacion de grandes estructuras planas llamados usualmente panqueques. Sin embargo los analisis estadisticos de las observaciones revelan la no viabilidad del modelo debido

fundamentalmente a que los remanentes de estos panqueques se encontrarían al presente ingresando a la etapa no-lineal mientras que las edades de quasars y galaxias exigen que este proceso hubiera ocurrido anterior a  $z \simeq 3$ .

El modelo CDM no posee un candidato natural como el HDM debiendo invocarse la presencia de partículas no descubiertas aun. El modelo CDM estandar esta definido con condiciones "naturales",  $\Omega = 1, \Lambda = 0$ , independencia primordial de las fluctuaciones metricas  $\delta g = \delta \phi$  con la escala, distribucion gaussiana de las amplitudes de las fluctuaciones y fases aleatorias en la descomposicion de Fourier del espectro de potencia. Cualquier modificacion a este modelo debe hacerse en desmedro de la "naturalidad" del mismo. Por otra parte el modelo inflacionario, que resuelve problemas fundamentales de la cosmologia tales como causalidad de regiones disconexas, planitud del Universo,  $\Omega = 1$ , y ausencia de monopolos magneticos; predice las condiciones "naturales" del CDM teniendo solo un parametro libre, la amplitud del espectro de fluctuaciones. El reciente descubrimiento de las fluctuaciones en la radiacion de fondo por el satelite COBE da apoyo a la teoria CDM natural, pues tanto la amplitud  $\simeq 10^{-4}$ , como la dependencia con la escala son consistentes quedando por resolverse problemas relacionados con analisis estadisticos de la distribucion de galaxias.

## FORMACION DE LAS GALAXIAS

Si nos mantenemos en el esquema CDM natural la distribucion de masa esta univocamente determinada a un dado factor de expansion. Resta la identificacion de las galaxias y sus propiedades.

Las simulaciones numericas mas detalladas realizadas para estudiar la distribucion de masa en gran escala han sido realizadas en los ultimos anos. Los 'halos' galacticos que se forman en este esquema particular de agregacion jerarquica poseen curvas de rotacion  $V_c$  planas a distancias de decenas de kpc, consistentes con las observaciones en galaxias espirales. Las funciones de correlacion de los halos y la densidad espacial de halos con una dada velocidad

circular son compatibles con las determinaciones modernas de correlaciones espaciales, funcion de luminosidad y la ley de Tully-Fisher. El punto debil del modelo es la funcion de correlacion en escalas de mas de 50 Mpc, donde el modelo predice una correlacion nula o negativa frente a un pequeno valor  $\simeq 10^{-2}$  de las observaciones, si bien los errores no tomados en cuenta en estas determinaciones tan precisas pueden eliminar la aparente contradiccion. A pesar de las virtudes mencionadas del modelo CDM, la formacion de galaxias en los 'halos' no esta especificada y nos podemos formular entre otras las siguientes preguntas: cuan estables son las galaxias en los halos con multiples entidades?, cual es la importancia de supernovas en la evolucion posterior?, cuales son los parametros mas relevantes en la determinacion de la morfologia de una galaxia?, etc.

Los contrastes de densidad en las regiones internas a 1kpc de las galaxias son varios ordenes de magnitud superiores a lo que esperaríamos si la formacion estelar hubiera sido originada antes del ensamblamiento de las galaxias, es decir si el colapso hubiese sido no disipativo. Un correcto tratamiento del problema necesariamente incluye la dinamica gaseosa y la posibilidad de perdida de energias por via radiativa.

La formacion estelar causa una modificacion substancial en la dinamica gaseosa debido a la inyeccion de energia al medio gaseoso por parte de las explosiones de supernovas, que segun la teoria de evolucion estelar tiene una alta frecuencia  $\simeq 0.01$  SN/Mo.

Las simulaciones que utilizan dinamica gaseosa hasta el presente han dado resultados que si bien son preliminares permiten vislumbrar en un futuro no muy lejano la solucion de numerosos problemas pendientes. La disipacion radiativa de energia del gas es esencialmente via radiacion de frenado de ~~electrones~~ electrones libres. El gas se libera de energia, se enfria y se concentra en los centros de los halos. Este gas frio se encuentra en condiciones de fragmentarse y comenzar la formacion masiva de estrellas. Diferentes autores adoptan diferentes criterios para la fragmentacion del gas para estudiar la formacion estelar. El consenso general es el de adoptar una tasa de formacion estelar  $dN_s/dt \simeq \rho_{gas}^\epsilon$  con  $\epsilon = 1.5 - 3$ . Si la formacion estelar es inducida por

colisiones entre nubes gaseosas entonces  $\epsilon = 1.5$ . Para la distribucion  $f(m)$  de masas estelares es usualmente adoptada la de la vecindad solar consistente con  $f(m) = cte.m^{-\alpha}$  si bien se estima que esta ley puede variar con las diferentes condiciones prevaecientes en el medio intra-halo en altos redshifts.

Las propiedades fotometricas de las galaxias pueden ser analizadas siguiendo los trazos evolutivos estelares. Entre los analisis de interes se encuentra el brillo de las galaxias en el infrarrojo en alto redshift y el efecto de las fusiones. Las fusiones de subestructuras tiene una importancia fundamental en la formacion de las galaxias pues durante una colision se producen ondas de choque en el gas que generan una masiva formacion estelar. Por otra parte la inyeccion de energia por parte de las supernovas puede interrumpir la continuidad de estructuras jerarquicas discoidales e inducir la formacion de galaxias elipticas.

Mostramos en la figura 3 la distribucion espacial proyectada de halos galacticos obtenidos a partir de una simulacion realizada segun el espectro de fluctuaciones CDM, las epocas corresponden a  $z=1.5$  y  $z=0$ .

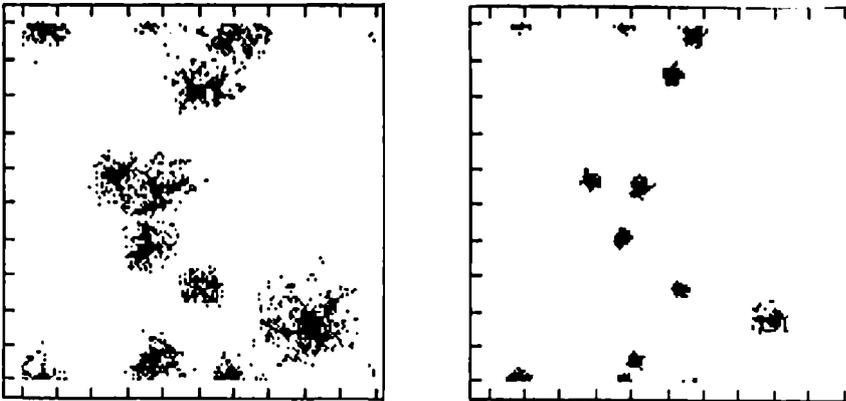
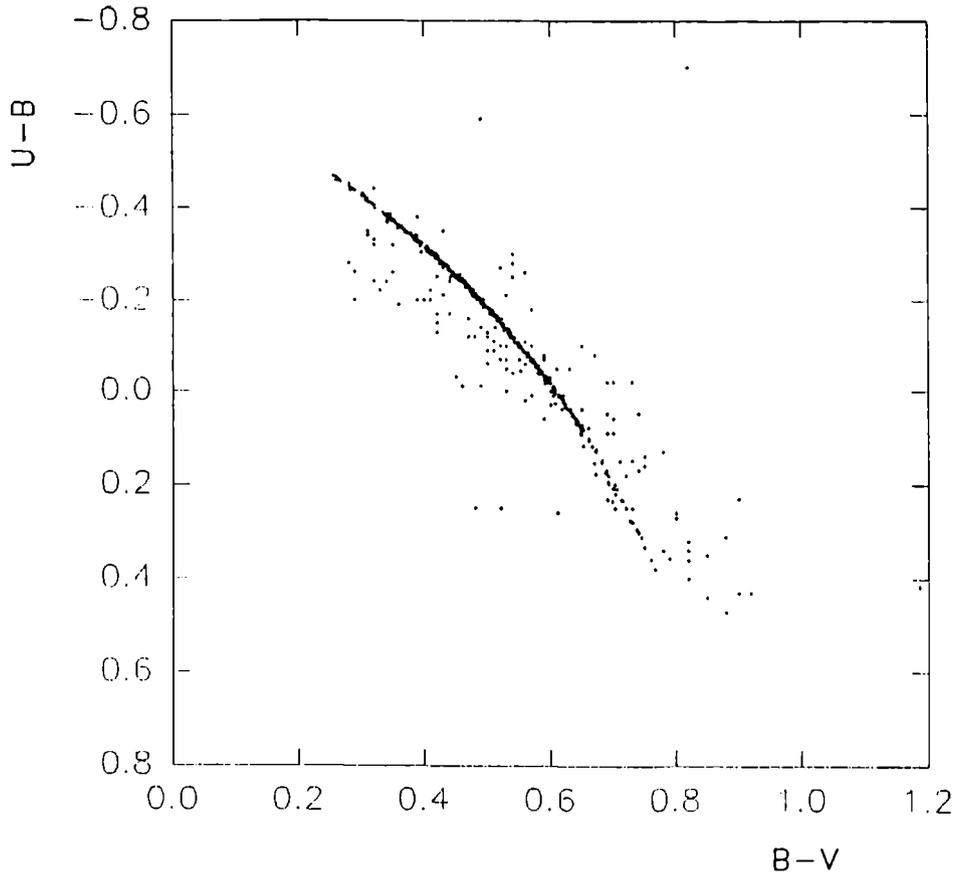


Figura 3. Halos galacticos en CDM

M. Abadi, M. Mosconi, P. Tissera y D. G.Lambas, 1992.

La evolucion temporal de la fraccion de estrellas formadas en halos galac-

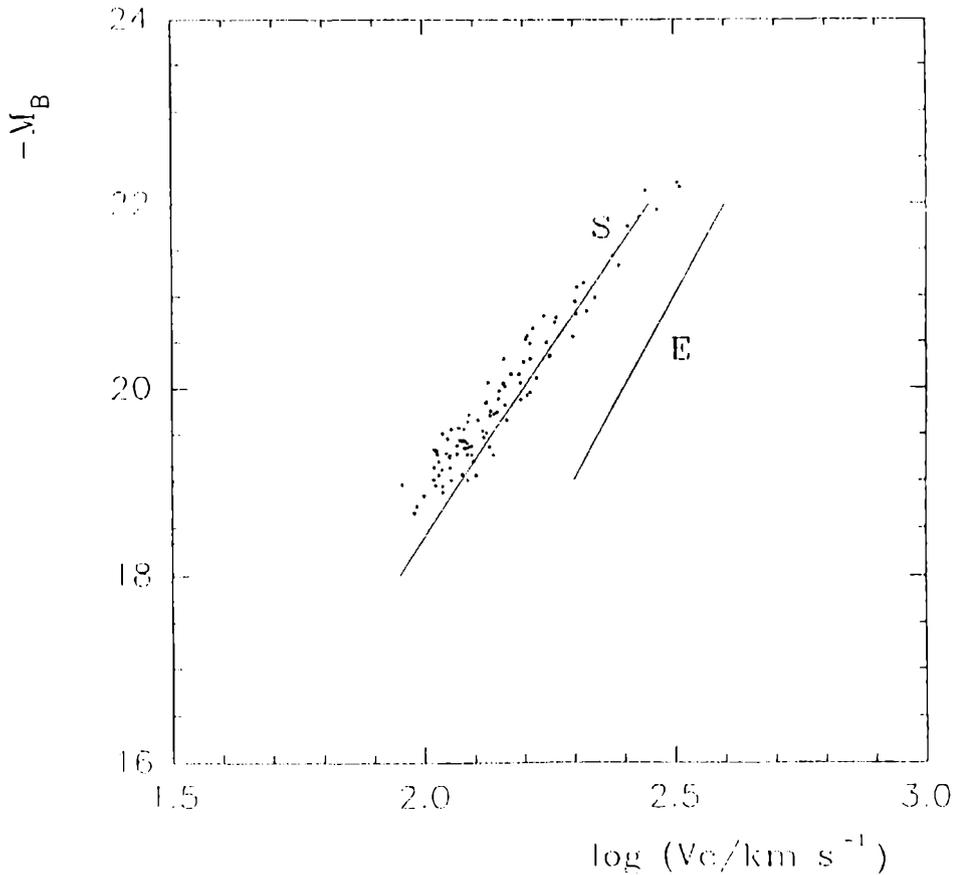
ticos, se corresponde con una tasa media de formacion estelar de  $3M_{\odot}$  anuale. En la figura 4 se muestra la distribucion de colores U-B, B-V de las galaxia obtenidas en la simulacion y su comparacion con los colores observados e galaxias extraidas del catalogo RCIII. Podemos constatar que existe un buo acuerdo entre los resultados de los modelos y las observaciones.



4. Colores U,B,V en los modelos de M. Mosconi, P. Tissera y D.G. Lambas, 1

La relacion mas notable entre la dinamica y el brillo de una galaxia es

relacion de Tully-Fisher entre la magnitud absoluta y la velocidad circular. En la figura 5 se muestra esta relacion obtenida para las simulaciones y su confrontacion con las observaciones donde podemos apreciar un excelente acuerdo entre ambas.

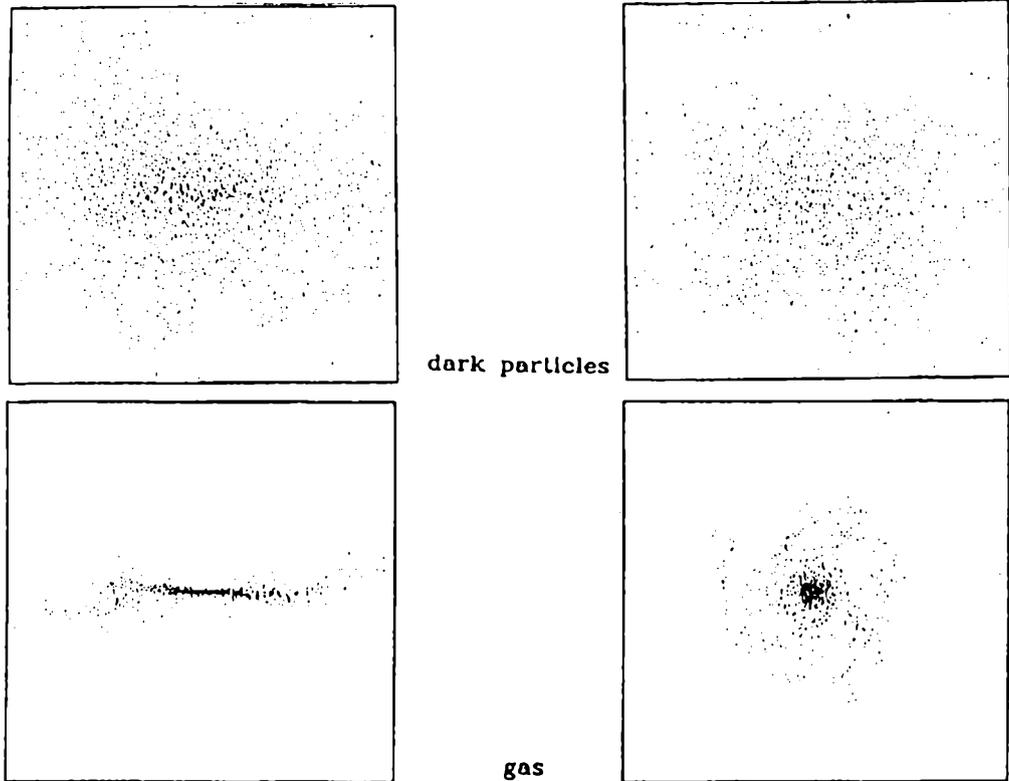


5. Relacion Tully-Fisher para los modelos de M. Mosconi,  
P Tissera y D.G. Lambas, 1992.

La morfologia de las galaxias pueden ser analizada mediante simulaciones

numericas hidrodinamicas que si bien en estado preliminar muestran comportamientos razonables y promisorios. En la figura 6 vemos el estadio evolutivo final de un sistema de materia oscura y gas segun N. Katz, 1989, donde se aprecia la formacion de un disco dominado gas y un halo por la materia oscura.

Podemos concluir que diversas propiedades fundamentales de las galaxias pueden ser comprendidas en el marco jerarquico descrito en esta revision. Numerosos puntos debiles restan ser analizados mediante tecnicas mas detalladas que requieren computos de la dinamica gaseosa y formacion estelar de gran complejidad.



6. Distribucion de gas y masa oscura en un halo segun Katz, 1989

## REFERENCIAS

- Abadi M., Tissera P. Lambas D.G. (1992), MNRAS, in press.
- Carlberg R.G. & Couchman H.M.P. (1989), Ap.J. 340, 47.
- Frenk. C., White S.D.M., Davis M. & Efstathiou G., (1988) Ap.J. 327, 507.
- Katz N. (1989), Ph.D. Thesis, Princeton University.
- Mosconi M., Tissera P., Lambas D.G. (1992) trabajo en ejecucion.
- Peebles P.J.E. (1980). "The Large Scale Structure of the Universe", Princeton University Press.
- Sersic J.L. "Extragalactic Astronomy", (1980), Reidel.
- White & Frenk, (1991) Ap.J. 379, 52.